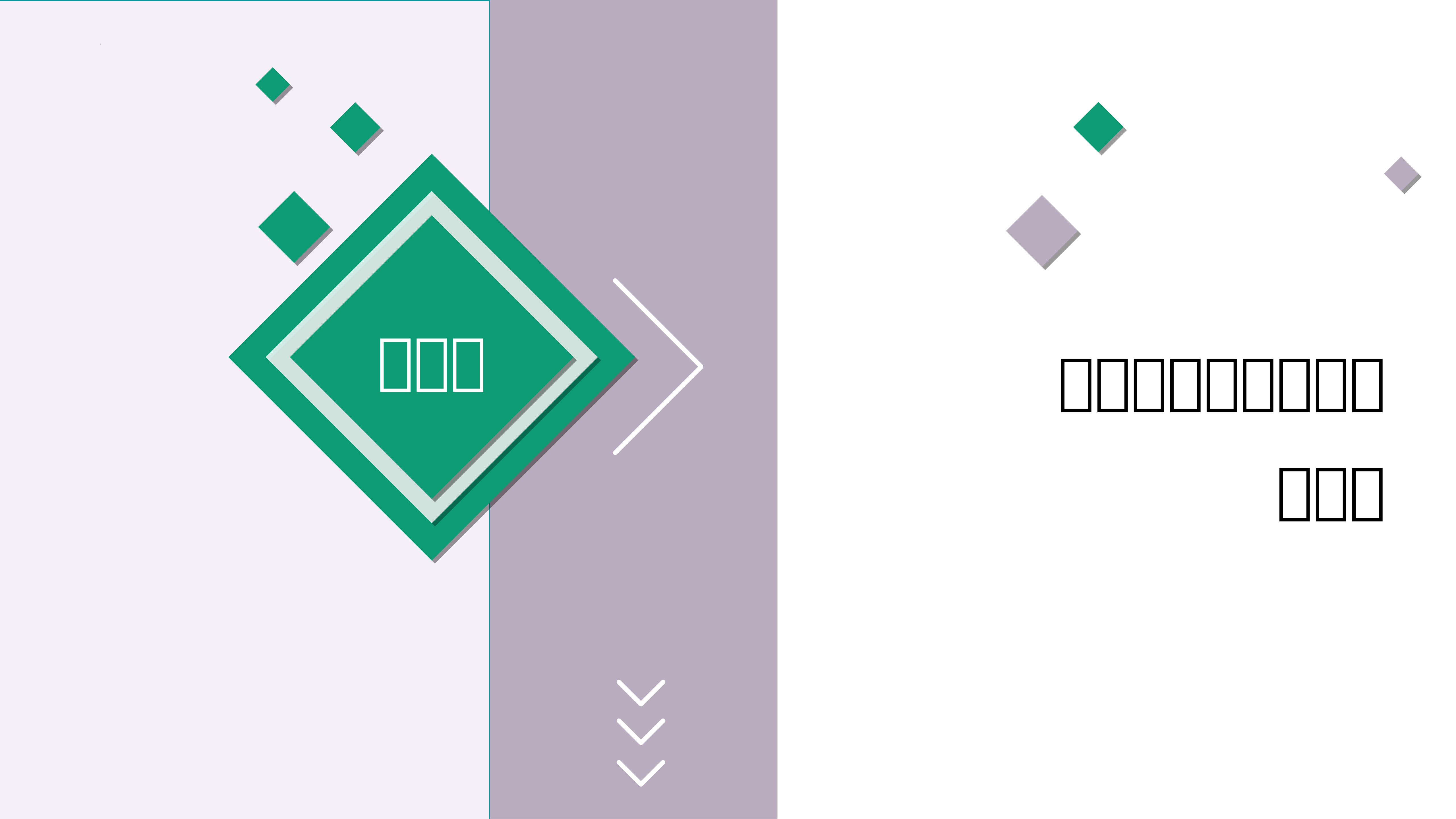
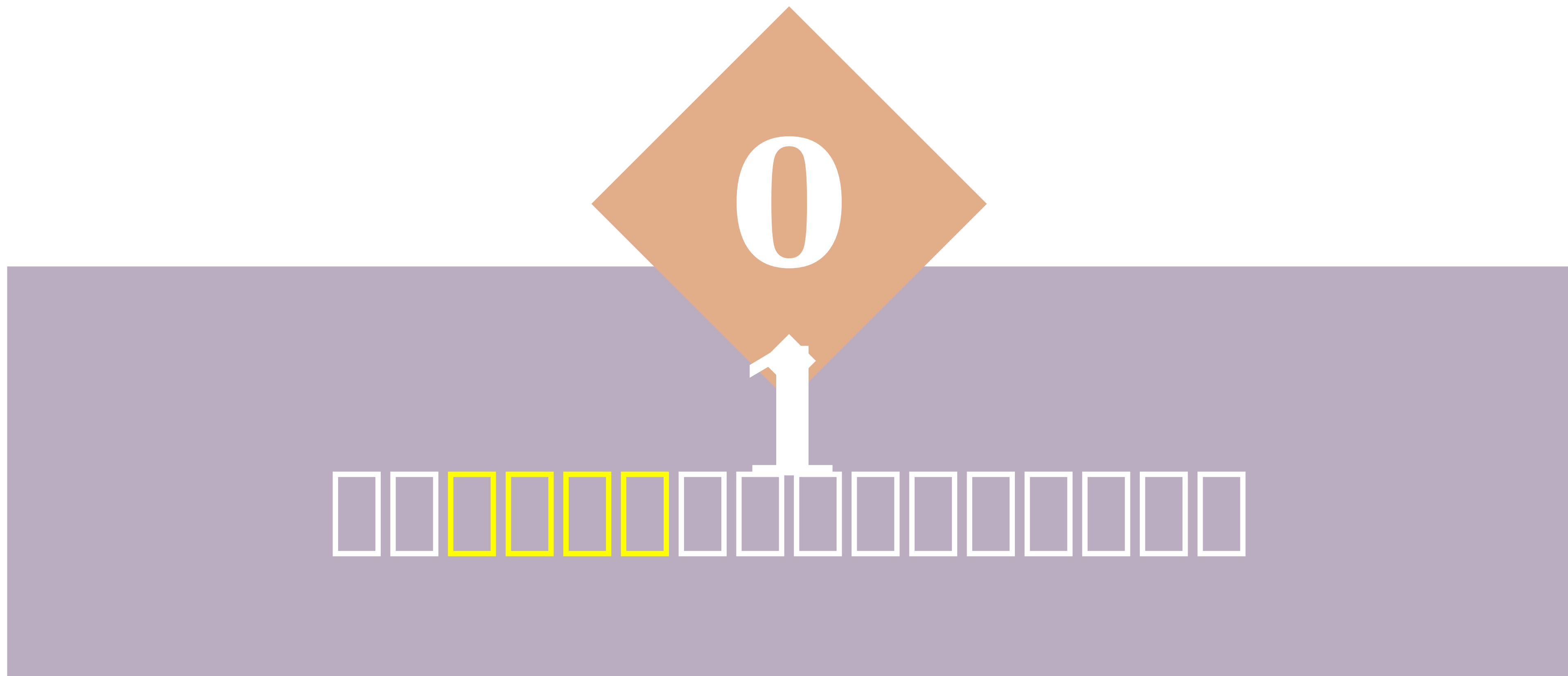
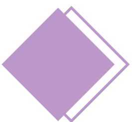



01



P105

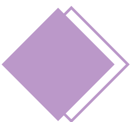
1. 实验原理



（1）
- 自变量：光照强度 —调整方法→ 可通过移动光源与叶片距离实现
- 因变量：光合作用强度 —检测指标→ 单位时间内氧气生成量

根据单位时间小圆形叶片浮起的数量的多少

（2）叶片含有空气，上浮 —抽气→ 叶片下沉 —光合作用，产生O_2→ O_2充满细胞间隙，叶片上浮



P105

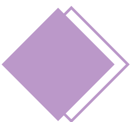
2. 实验步骤

实验步骤

- ①取材
  - 器材：打孔器
  - 目的：制备圆形小叶片30片
- ②排气
- ③沉水
- ④分组
- ⑤光照
- ⑥观察并记录

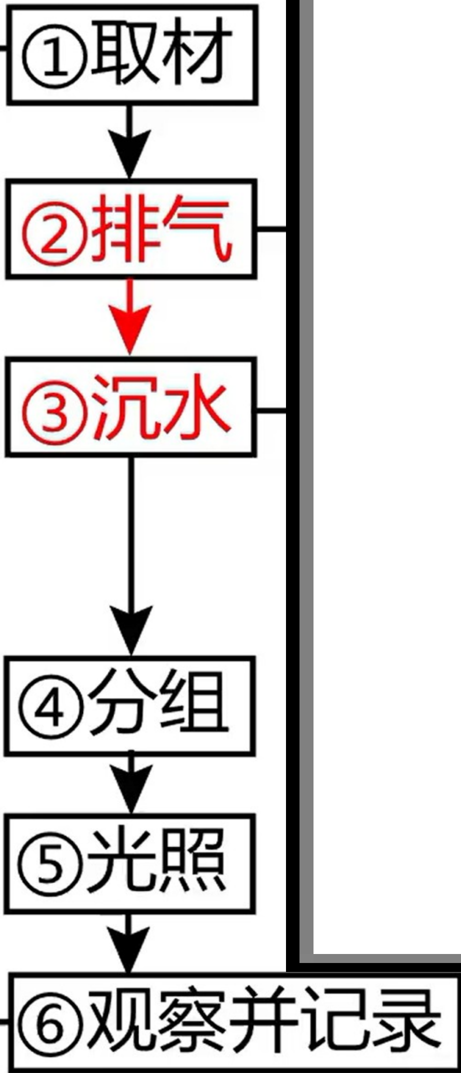






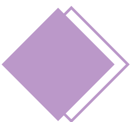
P105

2. 实验步骤









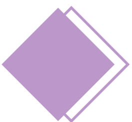
[illegible] P105

2. 实验步骤

实验步骤
- ①取材
- ②排气
  - 器材：注射器
  - 目的：使圆形小叶片内的气体溢出
- ③沉水
  - 条件：放在黑暗处
  - 原因：细胞间隙充满水
- ④分组
- ⑤光照
- ⑥观察并记录



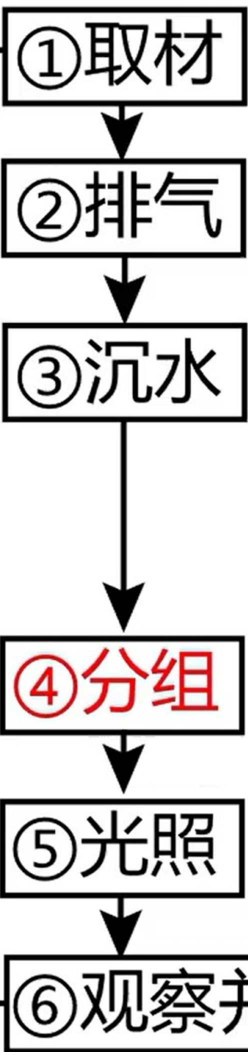

激活 Windows



P105

2. 实验步骤

实验步骤

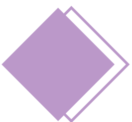




④分组：取3只小烧杯，分别倒入20mlCO 2缓冲液、10片圆形小叶片

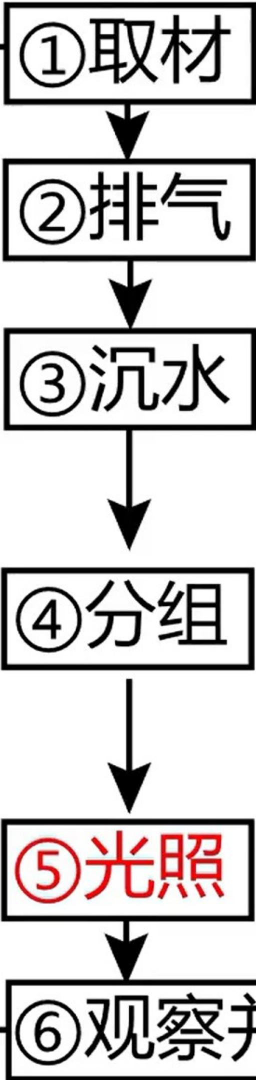
$NaHCO_3$缓冲液的作用是：

维持装置中CO_2浓度的稳定，为光合作用提供CO_2

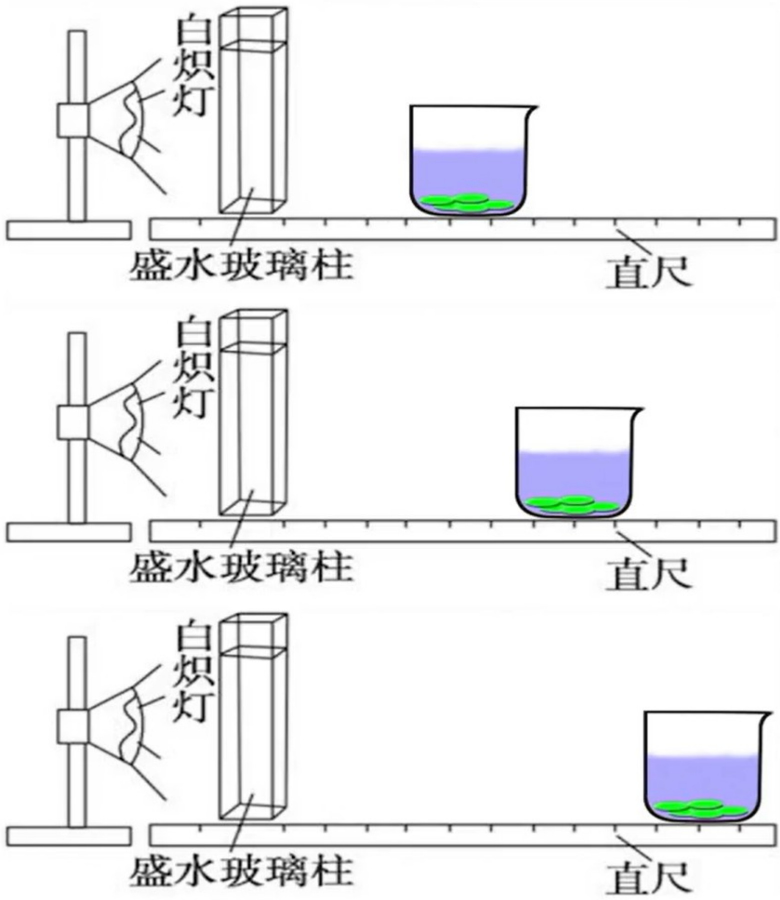


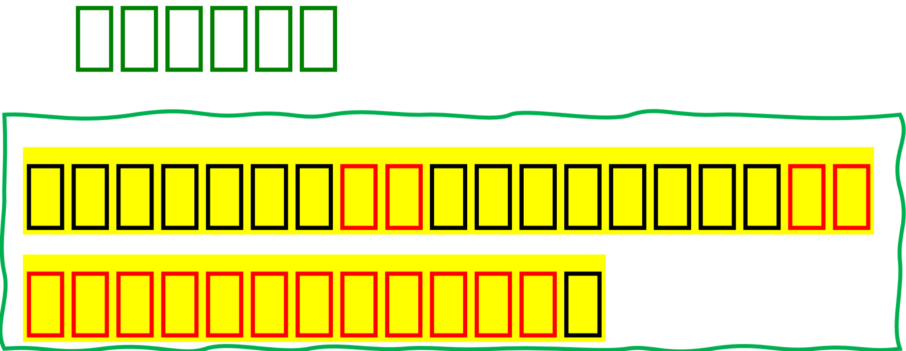
P105

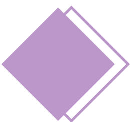
2. 实验步骤



：分别对这三个实验装置进行强、中、弱三种光照

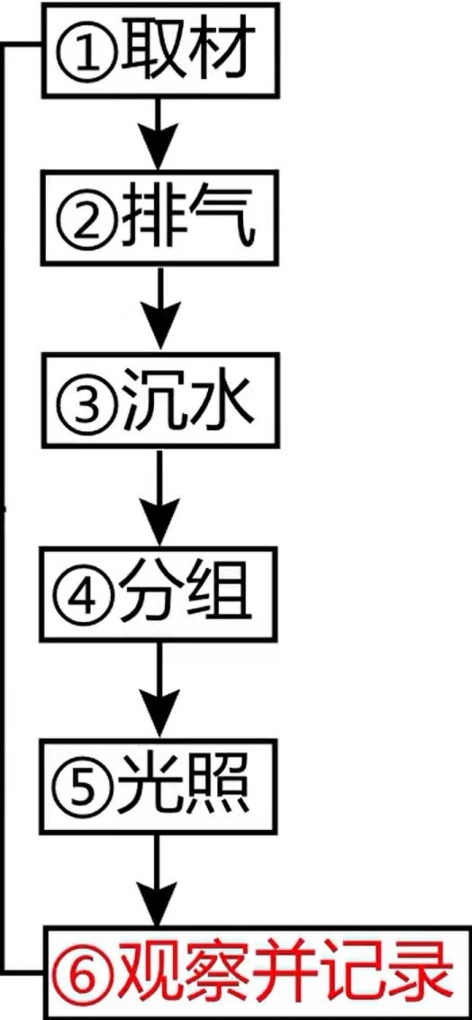






P105

3. 实验结果



：同一时间内各实验装置中圆形小叶片浮起的数量

不同光照强度处理下叶片漂起的状况（室温：25 ℃）

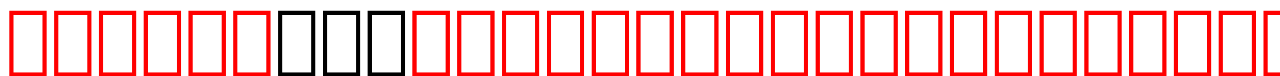
台灯灯泡的功率（W）		40	40	40
台灯与烧杯的距离（cm）		10	20	30
叶片漂起的数量	5min			
	10min			
	15min			
	20min			
	25min			

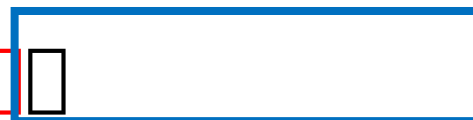
激活 Windows
转到"设置"以激活 Windows。

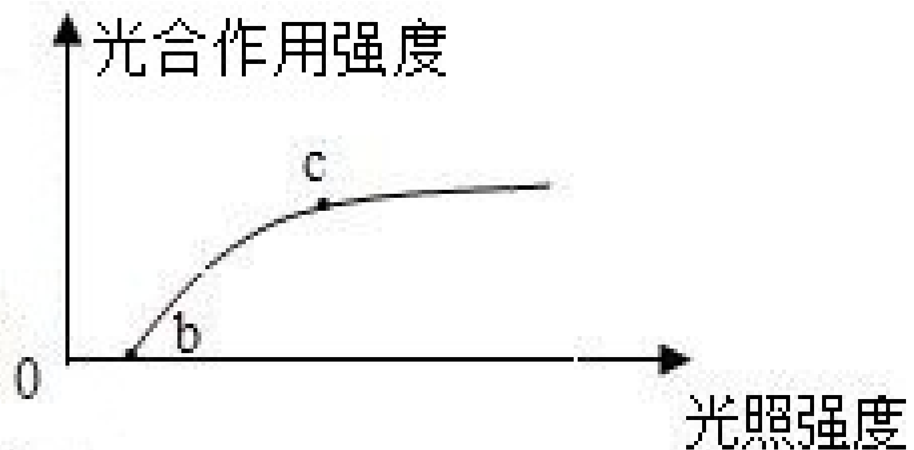


P105

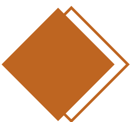
3. 实验结果

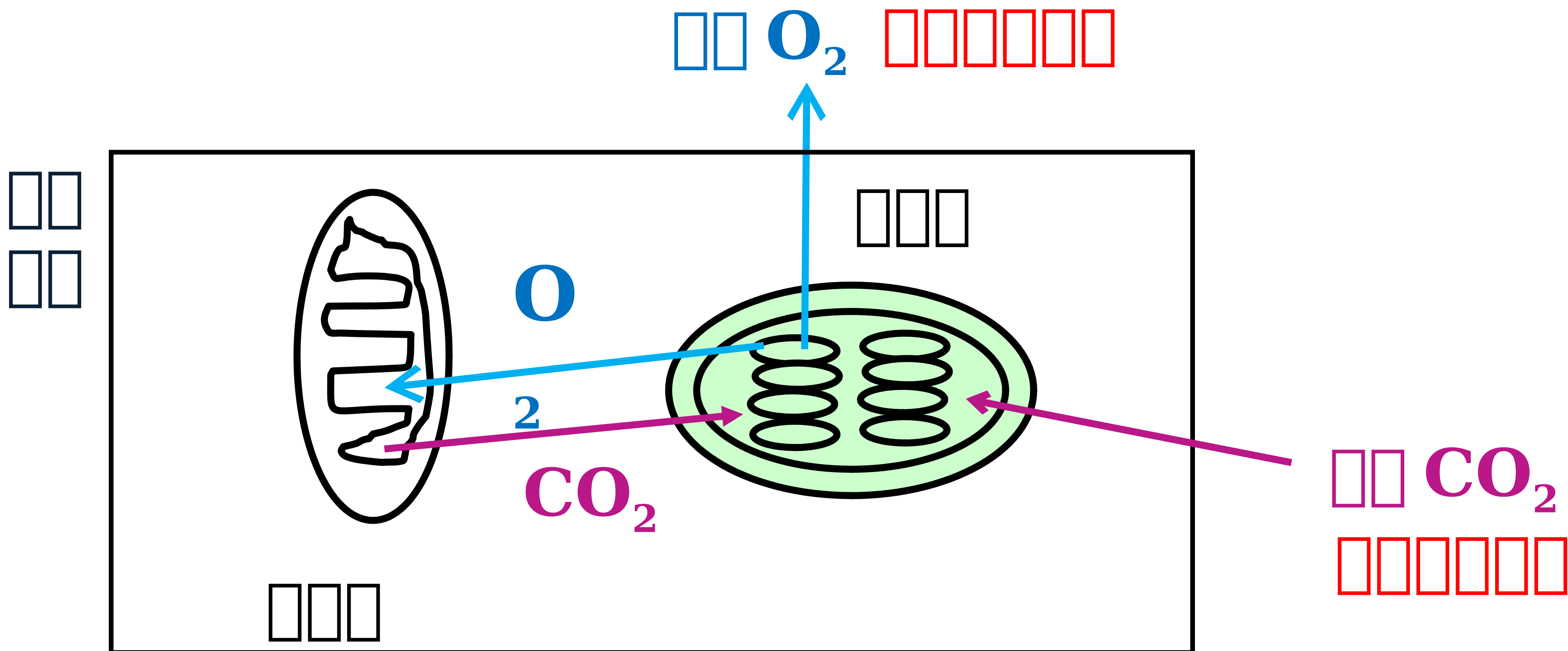




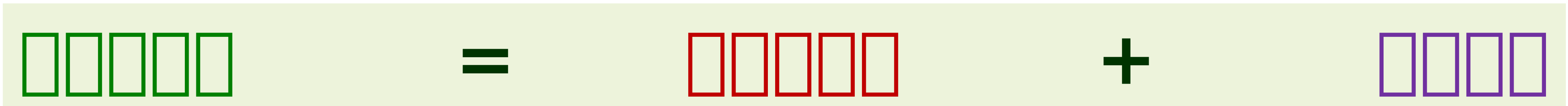


检测指标 → 单位时间内氧气生成量





O_2
O
2
CO_2
CO_2



=
+

[illegible]

[illegible] = [illegible] + [illegible]



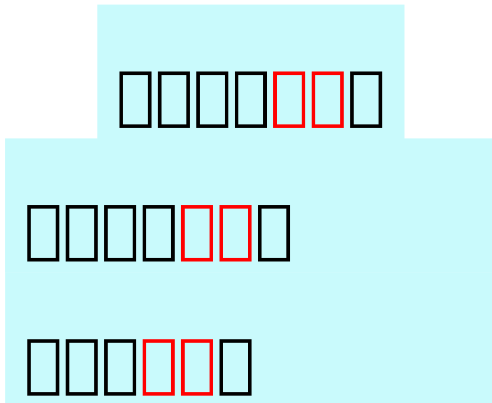


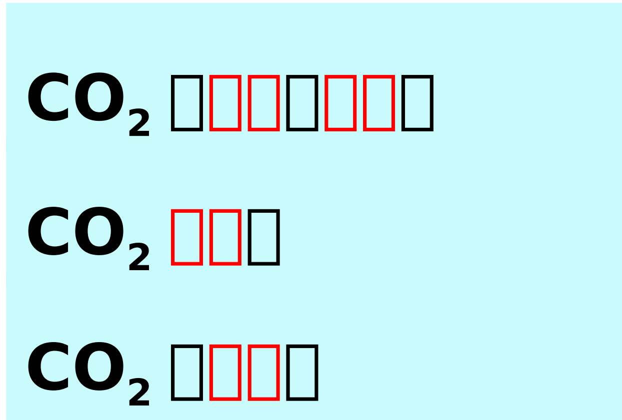


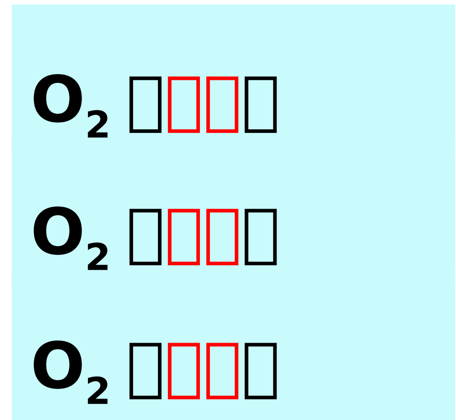


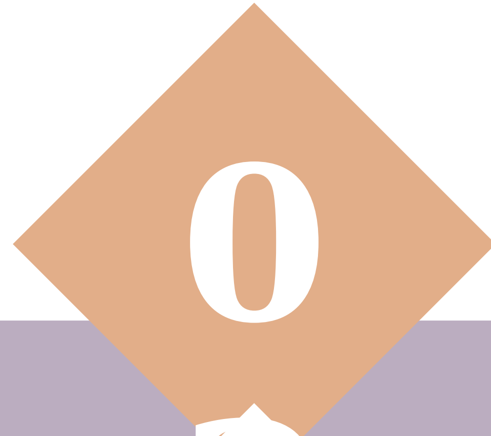


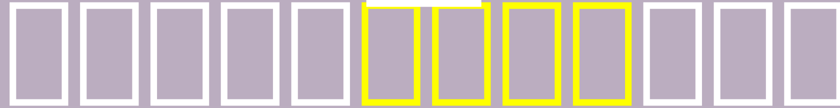


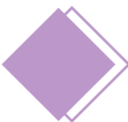


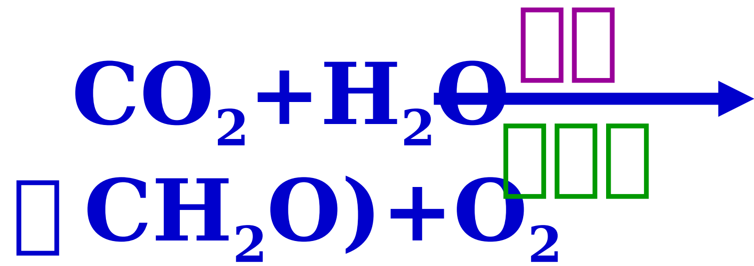

CO_2 [illegible]
CO_2 [illegible]
CO_2 [illegible]


O_2 [illegible]
O_2 [illegible]
O_2 [illegible]


02







CO_2

H_2O

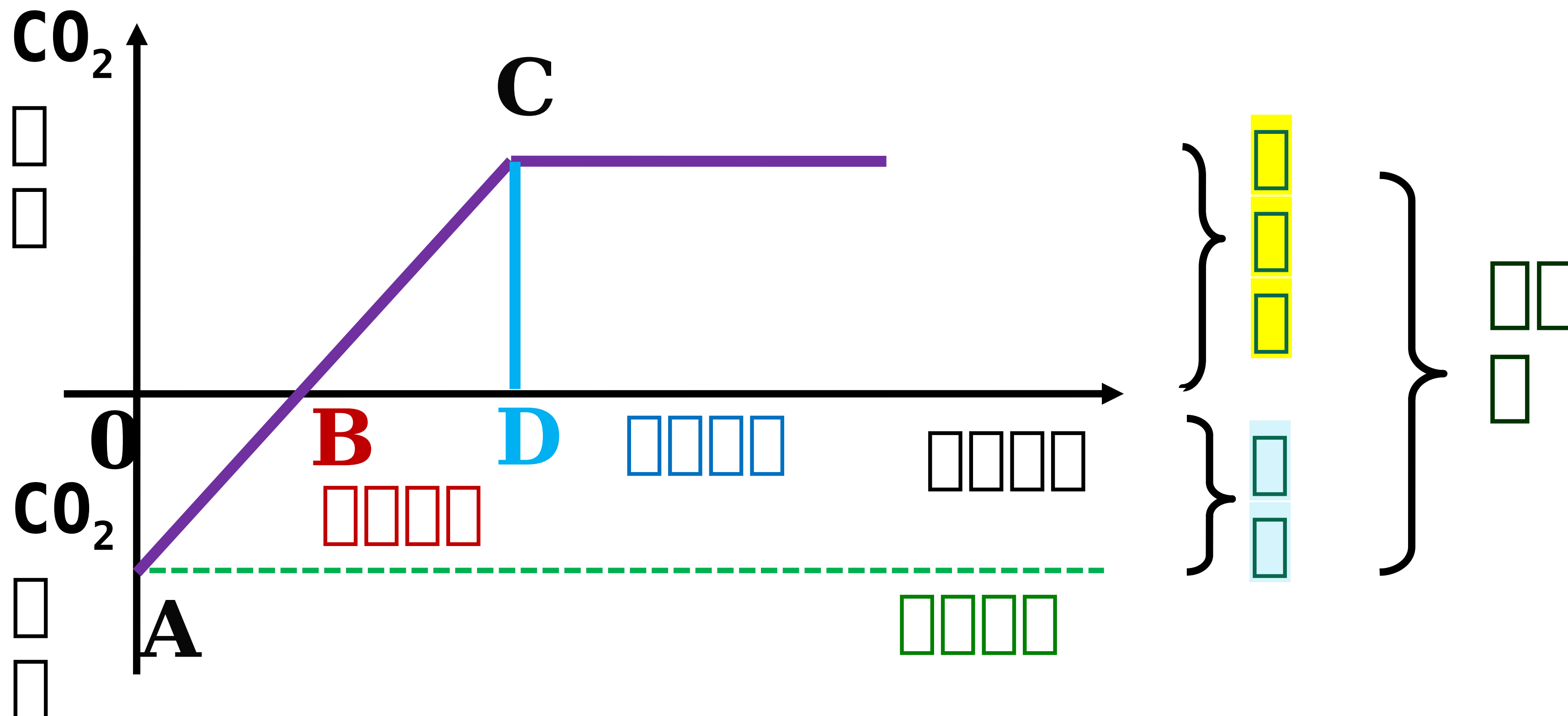
Mg^{2+}

CO_2

CO_2

□□□□□□□□□□□□□

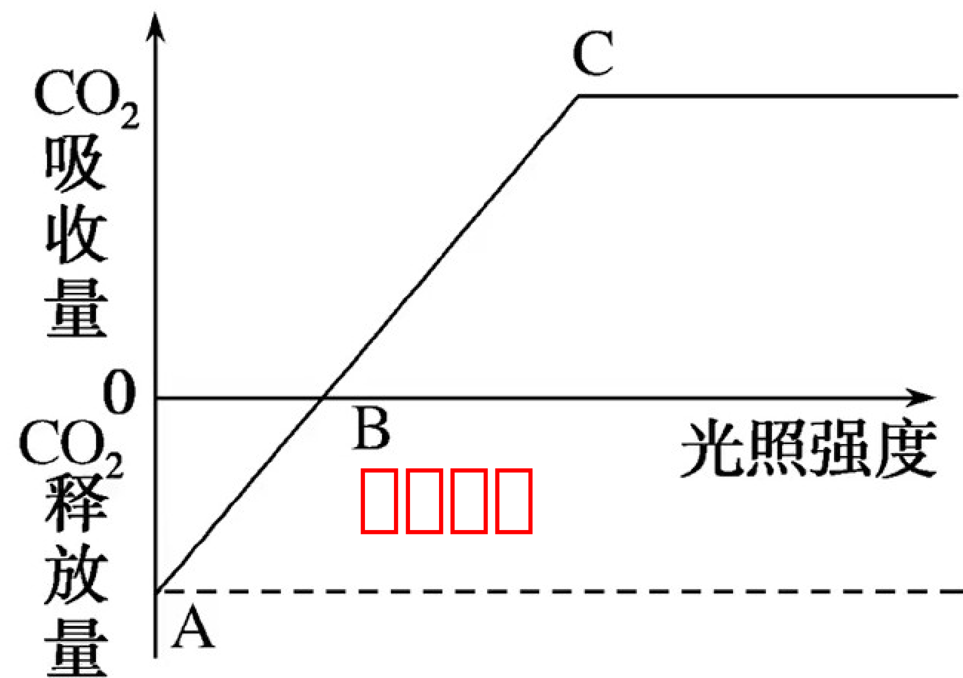
1. □□□□——□□

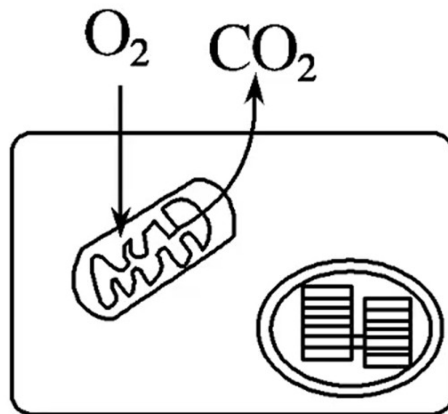


（1）OD □□□□□□□□□ <u>　□□□□　</u> □ ______

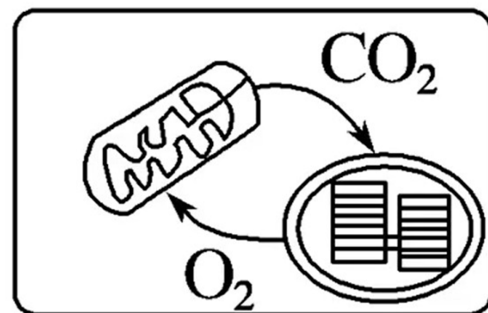
（2）D □□□□□□□□□□ <u>　CO_2 □□□□□□□□□　</u> □

1. ——



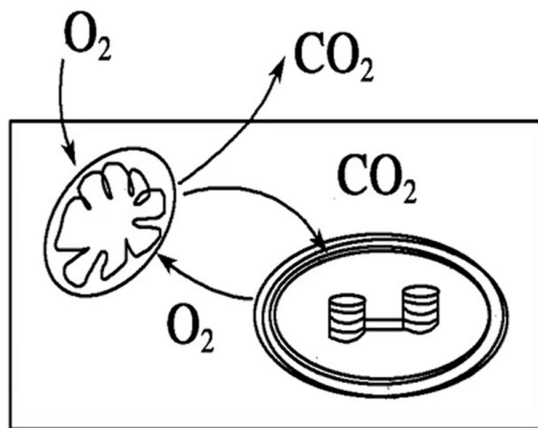


A:只进行呼吸作用

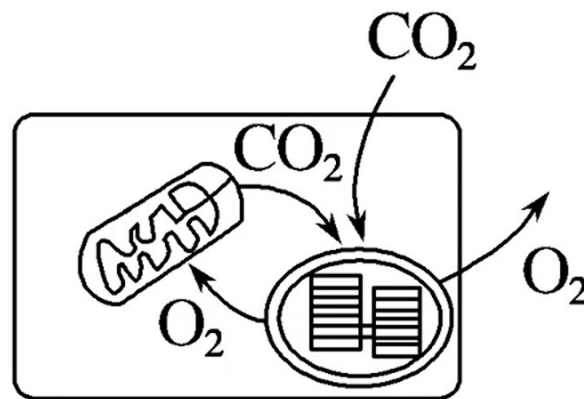


B：光合作用=呼吸作用

细胞呼吸释放的CO_2全部用于光合作用



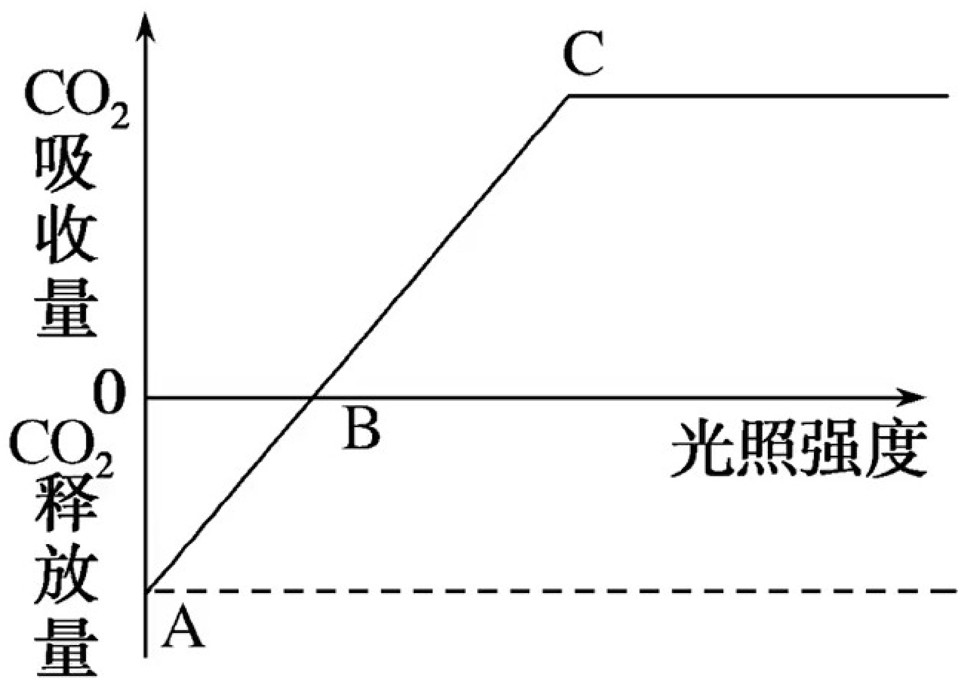
AB：光合作用<呼吸作用



BC：光合作用>呼吸作用

[illegible]

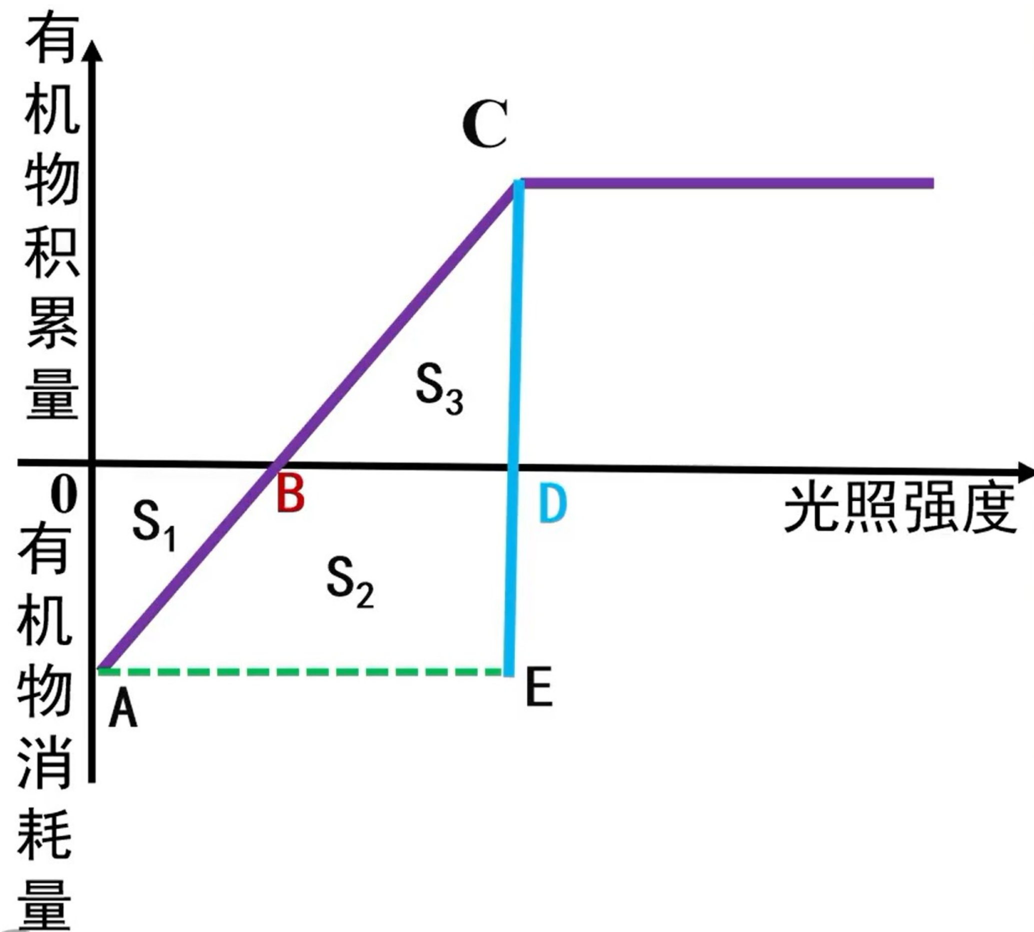
1. [illegible]——[illegible]



思考1：（植物体）在B点时，那么它的叶肉细胞的光合作用强度____[illegible]____呼吸作用强度。（大于、等于、小于）

□□□□□□□□□□□□□

1. □□□□——□□



思考1：（植物体）在B点时，那么它的叶肉细胞的光合作用强度____□□____呼吸作用强度。（大于、等于、小于）

思考2：在图甲中，呼吸作用消耗有机物的量可表示为 S_1+S_2，净光合作用量可表示为 S_3-S_1，光合作用产生有机物的量可表示为 S_3+S_2。(用 S_1、S_2、S_3 和数学符号表示)

1. □□□□——□□

（1）温室生产中，适当增强<u>光照强度</u>，以提高光合速率，使作物增产；

□□□



□□□□□

温室大棚一般选**无色透明**塑料薄膜



遇到阴雨天时给温室补充光照应当给予红光或蓝紫光。**优先选择红光。**

激活 Windows
转到"设置"以激活 Windows。

1.□□□□——□□

（2）间作：

□□□□□□□□□**□□□□**□□□**□□□□**□□□

a. 两种植物的根系深浅搭配，合理利用了不同层次土壤内水分和养分。

b. 两种植物高矮结合，充分利用了不同层次的阳光。



玉米——大豆



桃树--甘蓝

1. □□□□——□□

（3）轮作：在同一块田地上，按预定的种植计划，轮换种植不同的作物



玉米，轮作花生

原因是：

（1）不同作物吸收土壤中的营养元素的种类、数量及比例各不相同，根系深浅与吸收水肥的能力也各不相同，轮作还可以均衡利用土壤中的矿质元素。

（2）每种作物都有一些专门为害的病虫杂草，轮作能够改变原有的食物链，防止病虫害；抑制杂草生长，减轻草害。

1.□□□□——□□

（4）套种：在同一块田地上，在前季作物的**生育后期**，在其株行间播种或移栽后季作物的种植方式。

原因：延长利用光照时间



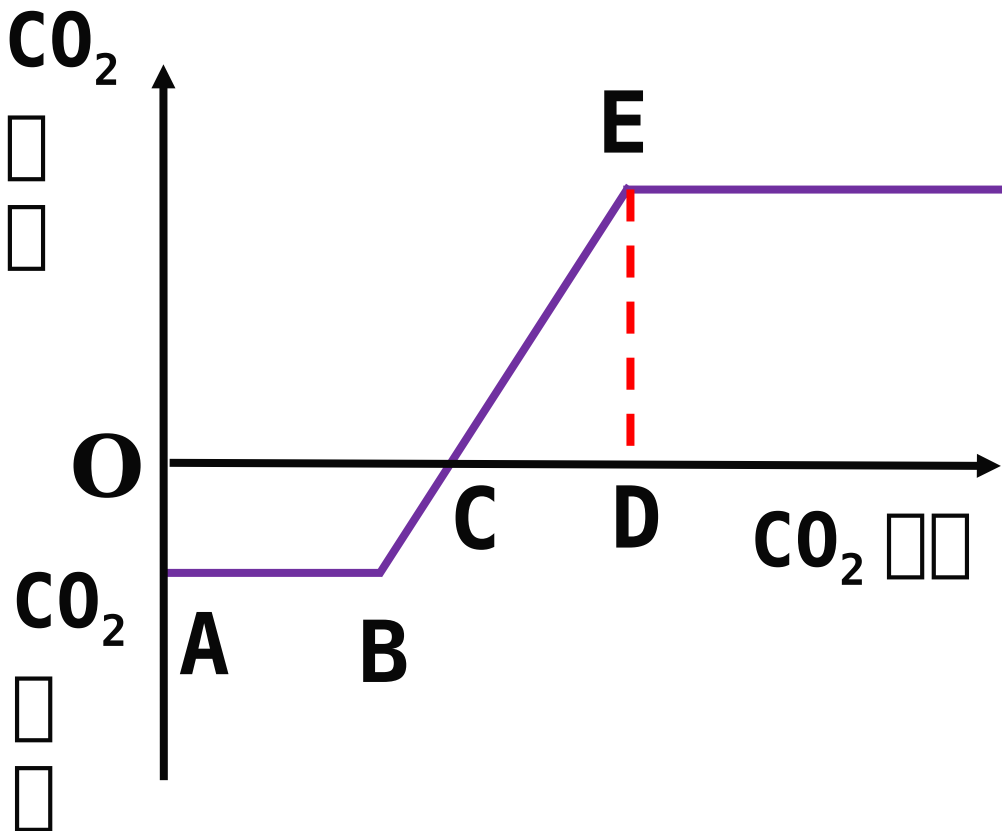
玉米套种花生



果园套种油菜

[illegible]

2.CO_2 [illegible]——[illegible]



AB [illegible]

B [illegible]

[illegible] CO_2 [illegible]

C [illegible] CO_2 [illegible]

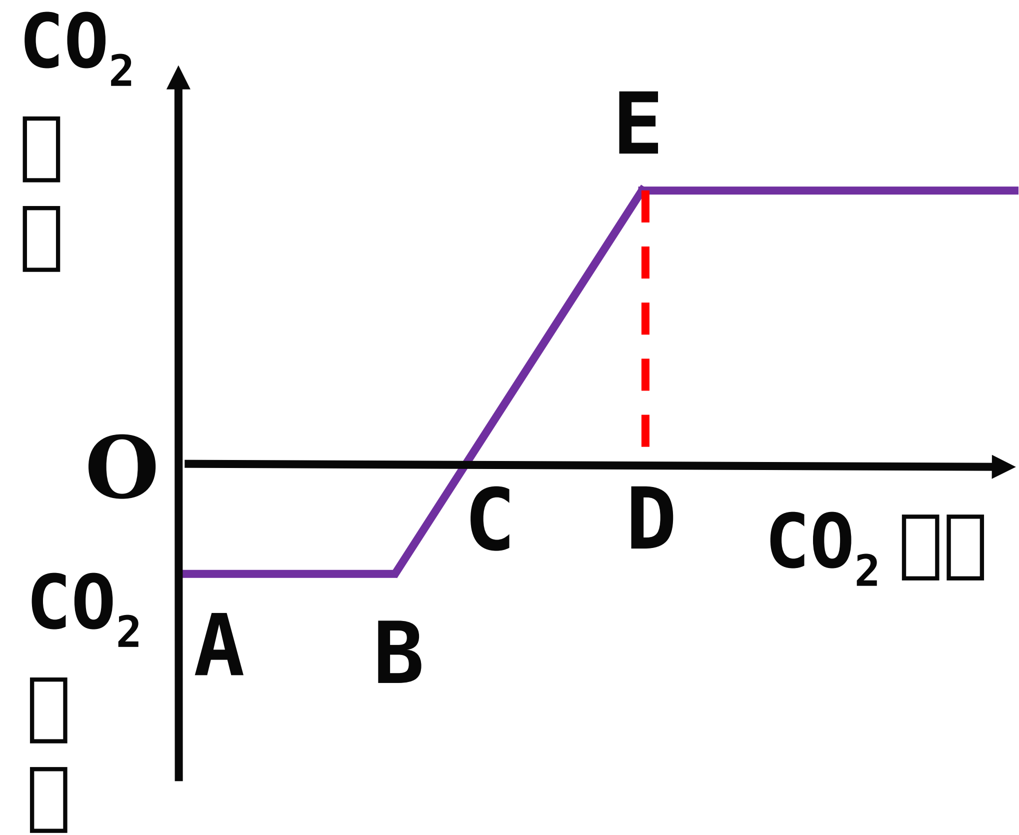
[illegible] = [illegible]

D [illegible] CO_2 [illegible]

E [illegible]

[illegible]

2.CO_2 [illegible]——[illegible]



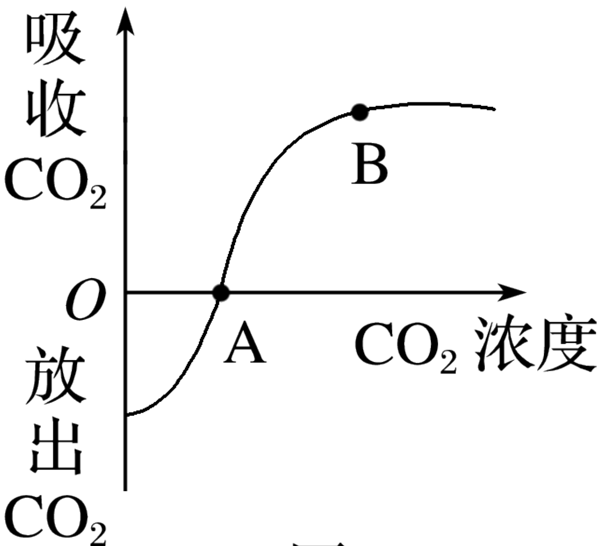


图 1

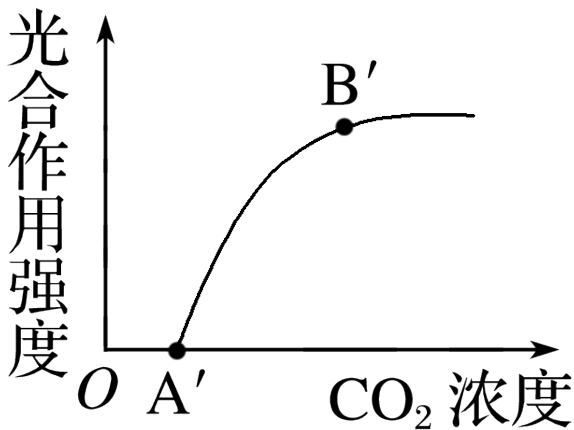


图 2

A’ [illegible]
[illegible] CO_2 [illegible]

2.CO_2 ——

①

② CO_2

③





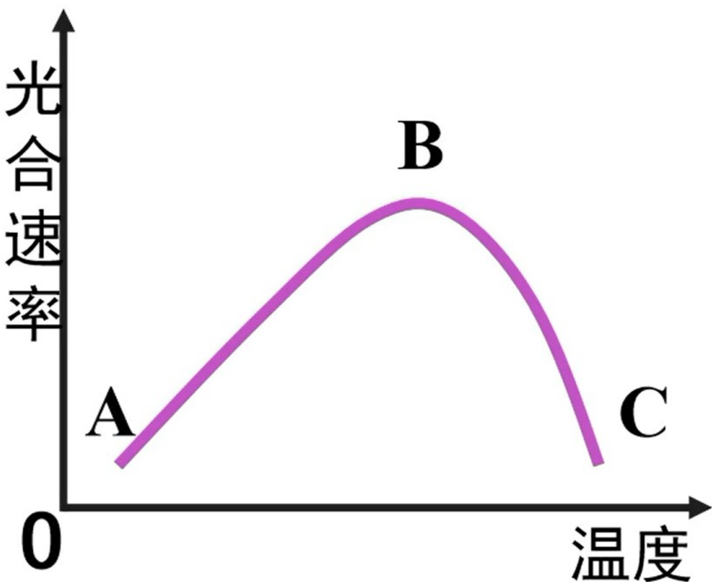


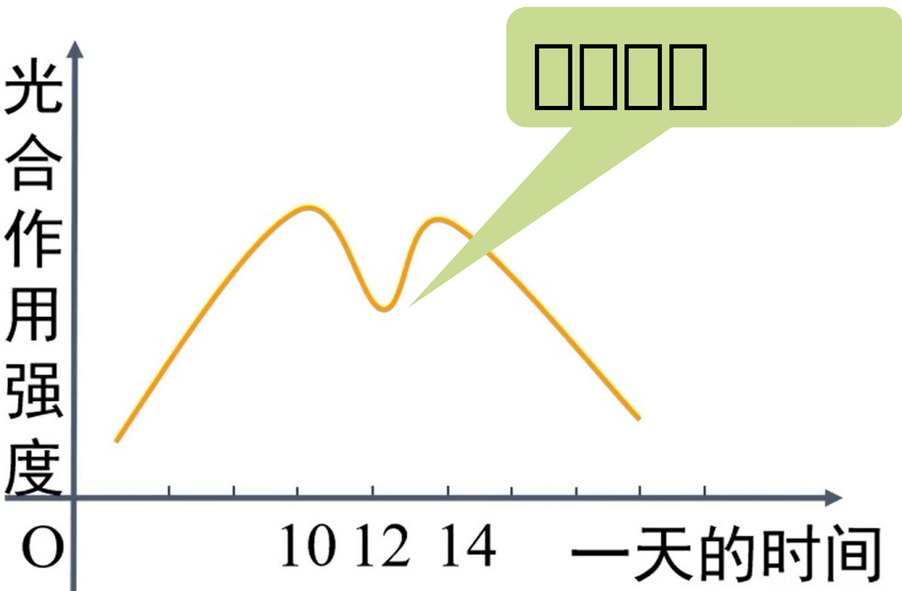
[illegible]

3. [illegible]——[illegible]

①原理1：温度通过影响[illegible]__________影响光合作用。

①原理2：温度通过影响[illegible]__________影响光合作用。





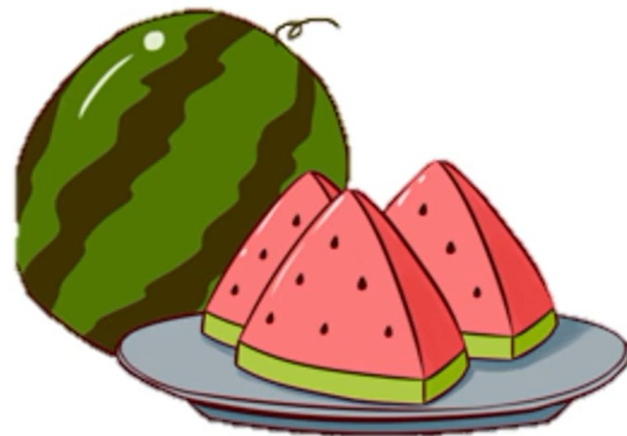
□□□□□□□□□□□□□□□

3. □□——□□

（1）适时播种

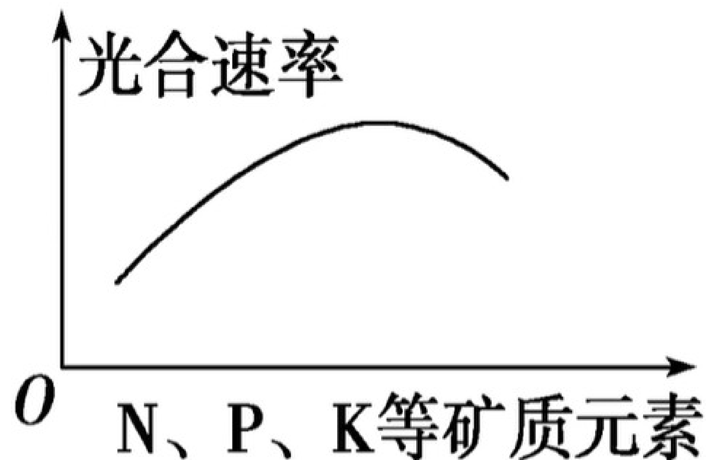
（2）温室中，白天适当提高温度，晚上适当降温





□□□□□□□□□□□□□□

4. □□□□——□□□□□



（1）在一定浓度范围内，增大必需矿质元素的供应，可______光合作用速率，但当超过一定浓度后，植物光合作用速率________。

（2）土壤中矿质元素溶液浓度过高，植物光合作用速率下降的原因可能是：____

□3□□□□□



□□□□□□□□□□□□□□□

5. □——□□

（1 □□□□□□□□□□

（2 □□□□□□□□□□□□□□

（3 □□□ → □□□□ → □□ CO_2 □□□□ → □□□□□□□

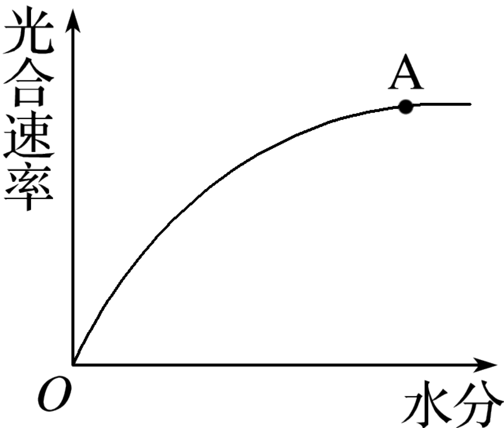


图 1

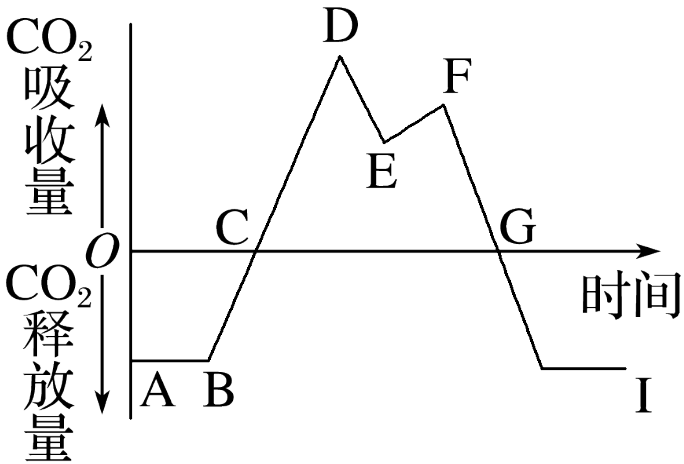


图 2

□□□□□□□□□□□□□

5. □——□□

（1）合理灌溉

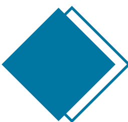
（2）施肥的同时，往往适当浇水，小麦的光合速率会更大，此时浇水的原因是：

① □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

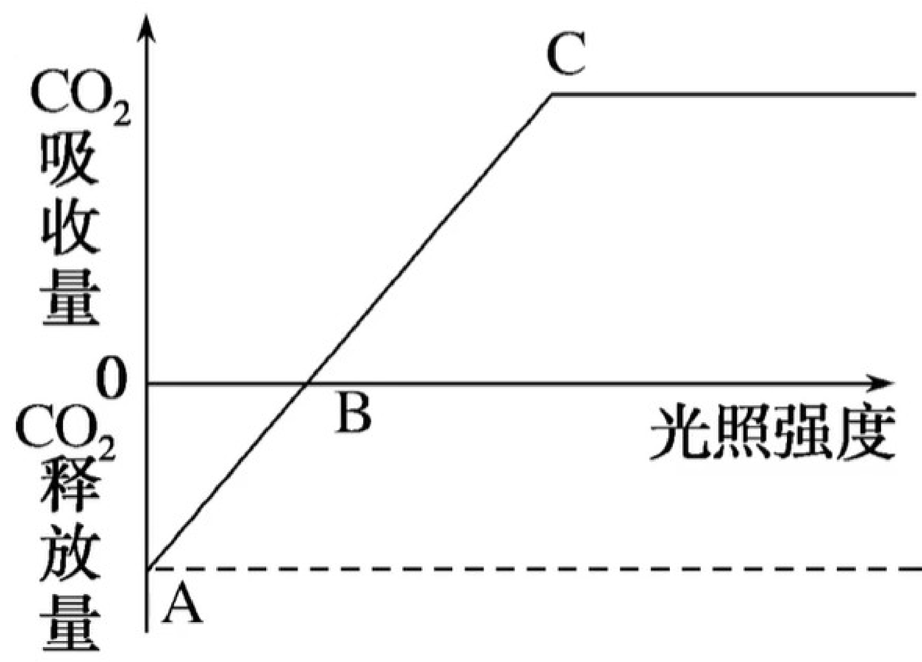
② □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ CO_2 □□□□

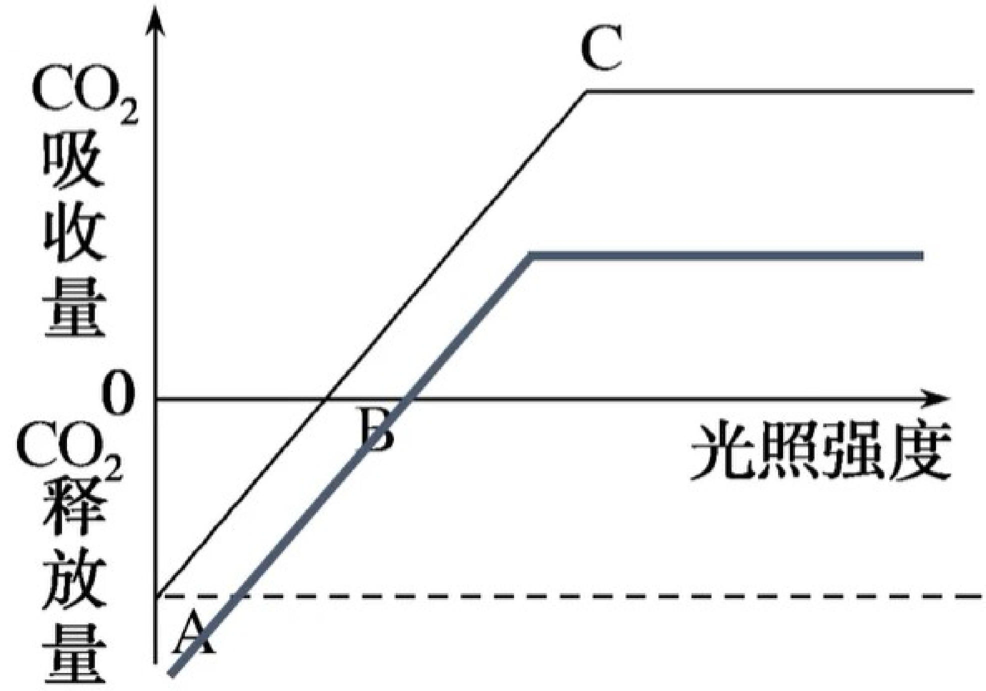


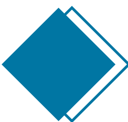




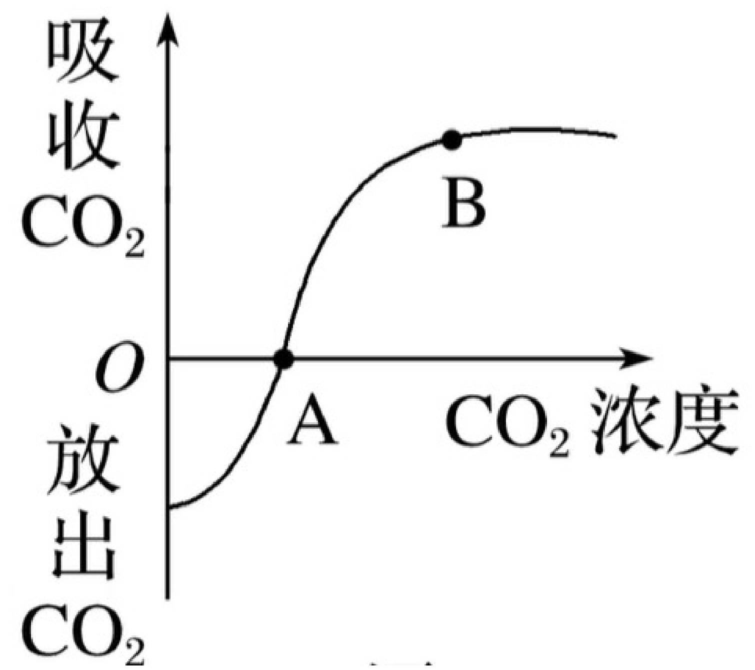
1. 降低CO_2浓度，光补偿点________，光饱和点__________，且达到饱和点时的光合速率也________

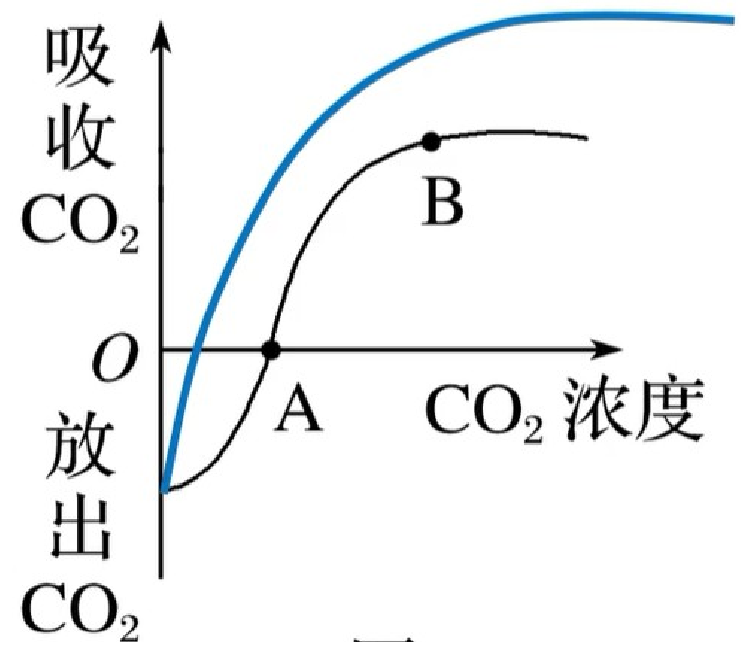




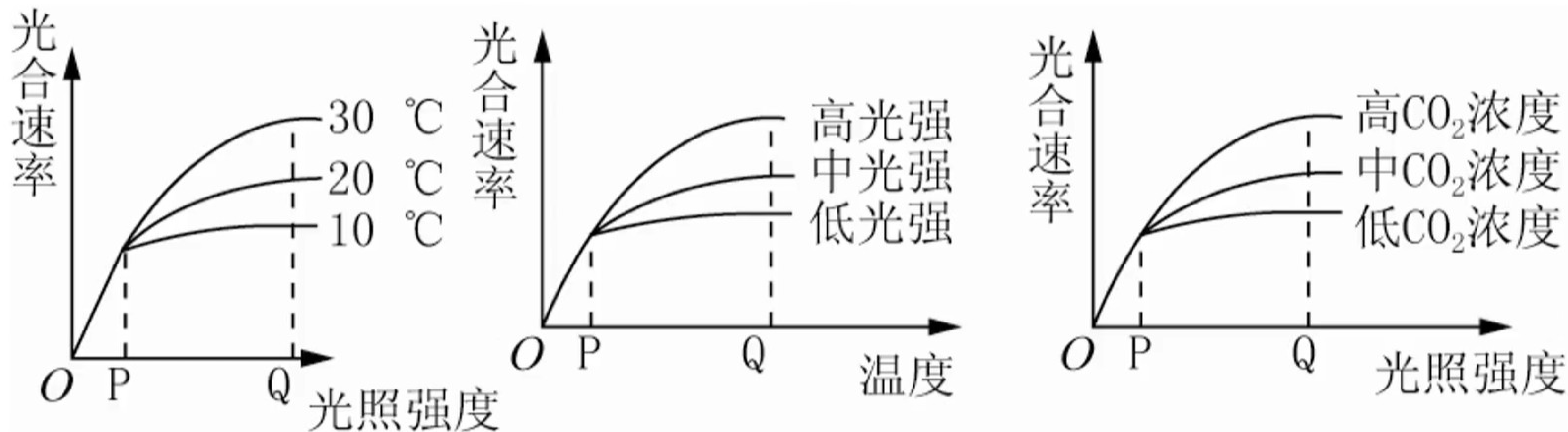


2. 增强光照，CO_2补偿点________，CO_2饱和点________





光照强度、CO_2浓度和温度对光合作用的综合作用



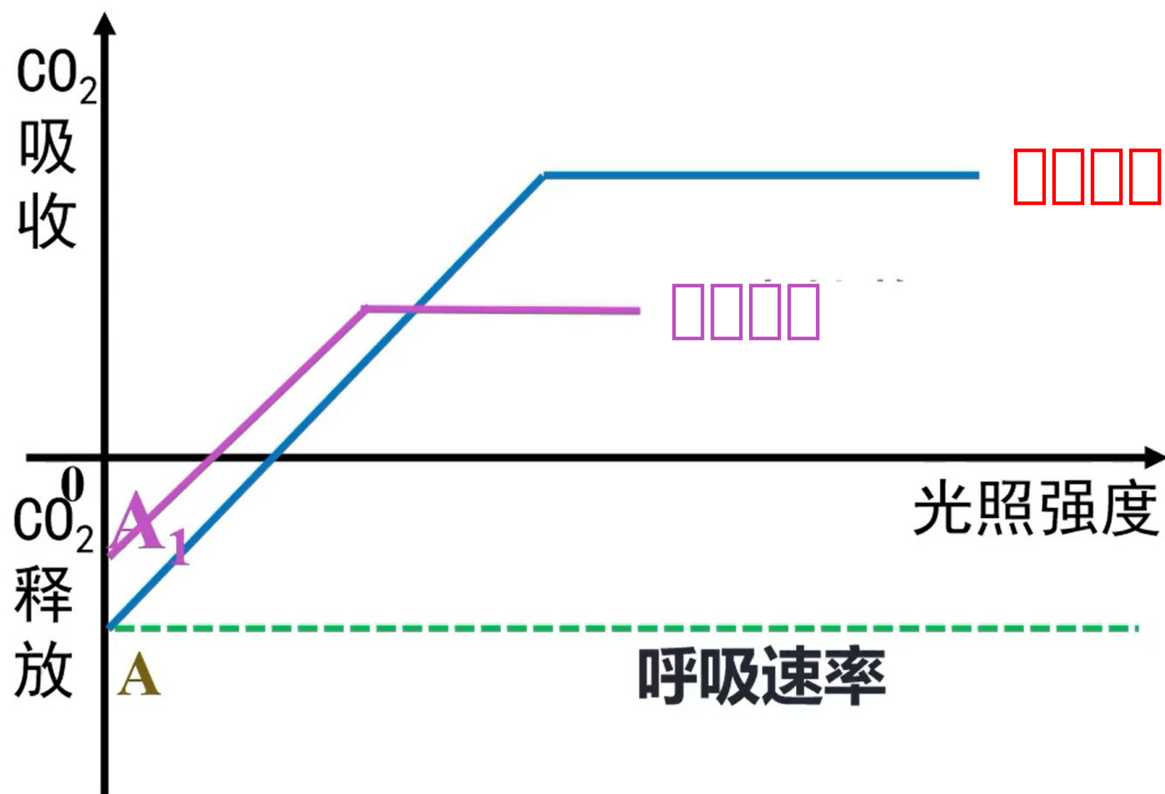
应用：温室栽培时，在一定光照强度下，白天适当提高温度，增加光合酶的活性，提高光合速率，也可同时适当增加CO_2______，进一步提高光合速率；当温度适宜时，可适当增加__________和CO_2浓度以提高光合速率。

激活 Windows

1. 植物自身的遗传特性

光补偿点：

光饱和点：



阳生植物是指在强光环境中生长发育健壮，在阴蔽和弱光条件下生长发育不良的植物

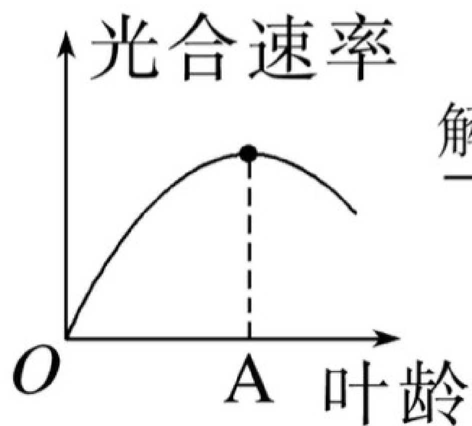
阴生植物是指在弱光条件下比强光条件下生长良好的植物。

植物呼吸作用较弱，对光的利用能力也不强

激活 Windows
转到"设置"以激活 Wind

□□□□□

2. 植物叶片的叶龄、叶绿素含量、酶的活性和数量

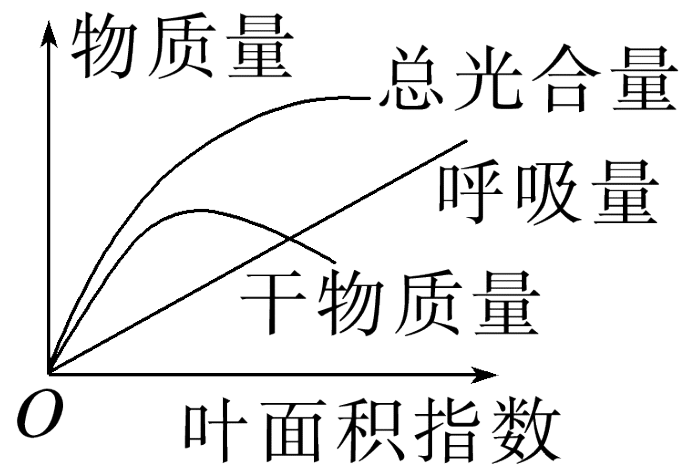


解读 →

- 曲线分析
  - OA段，随叶龄增大，叶面积增大，色素含量增多，酶的含量和<u>□□</u>增大，光合速率加快
  - A点之后，随叶龄增大，色素、酶含量减少，酶<u>□□</u>减弱，光合速率减慢
- 应用
  - 适时摘除老叶

□□□□□□

3. □□□□□



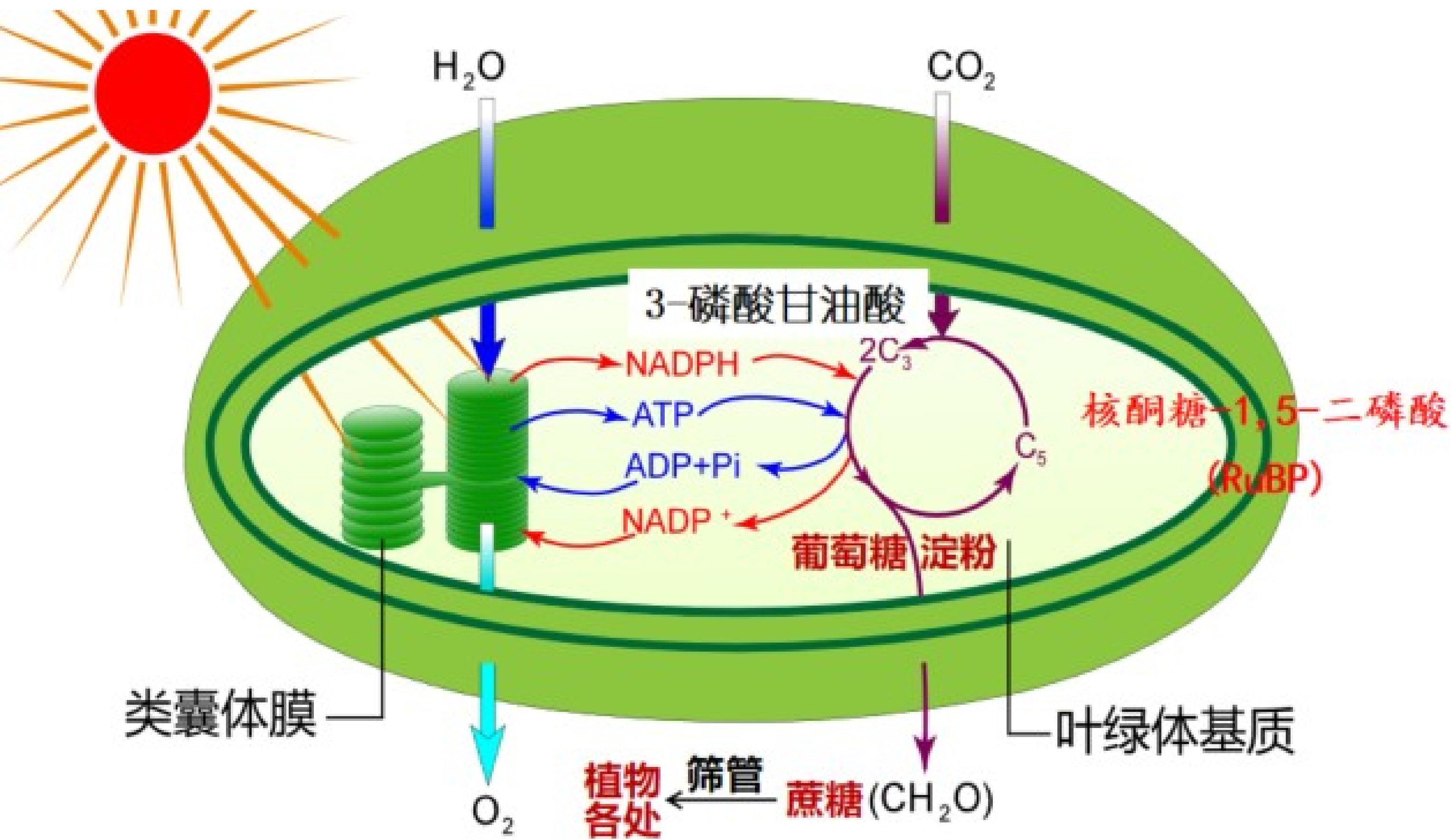
在一定范围内，随叶面积不断增大，光合作用实际量不断增加，超过一定范围后，光合作用强度____□□□□____

↓ 应用

适当修苗，合理施肥、浇水，避免枝叶徒长，封行过早。温室栽培植物时，可通过____□□□□____来增加光合作用面积

□□□□□□

4. □□□□□□□□□□□□□□□□□□



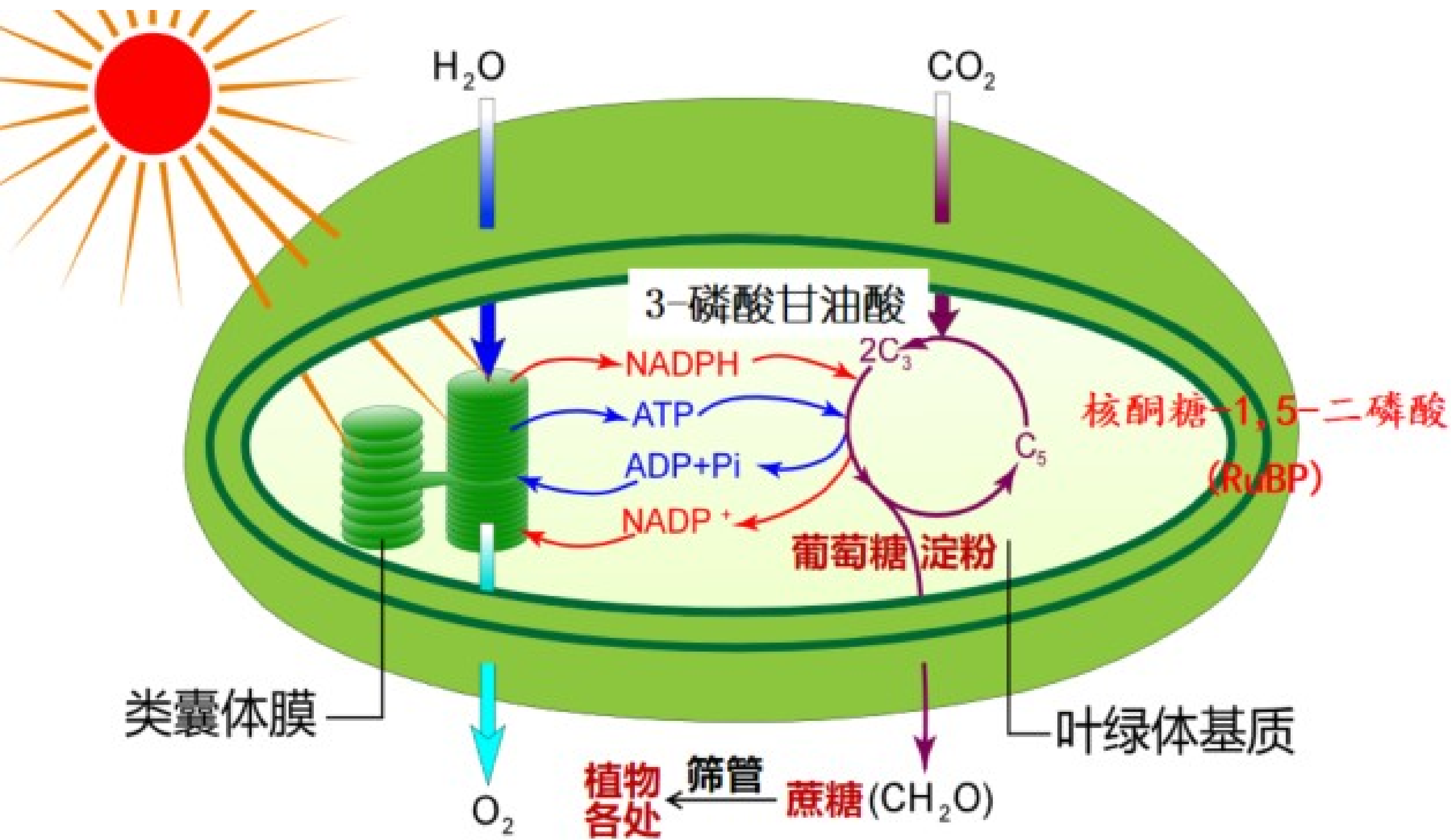
H_2O
CO_2
3-磷酸甘油酸
NADPH
ATP
ADP+Pi
NADP +
$2C_3$
C_5
核酮糖-1, 5-二磷酸
(RuBP)
葡萄糖
淀粉
类囊体膜
叶绿体基质
O_2
植物
各处
筛管
蔗糖
(CH_2O)

□ 1 □□□□□□

□□□CO_2□□□□

□□□□□

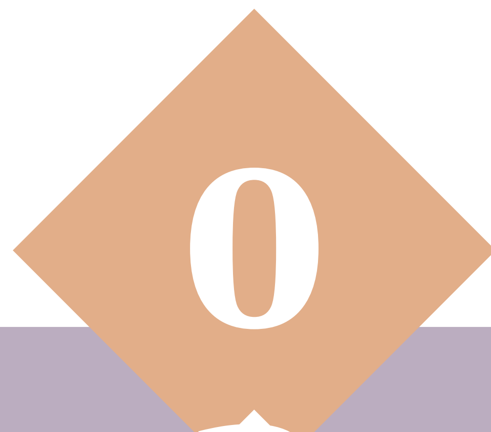
4.□□□□□□□□□□□□□□□□□□



H_2O
CO_2
3-磷酸甘油酸
NADPH
$2C_3$
ATP
ADP+Pi
$NADP^+$
C_5
核酮糖-1, 5-二磷酸
(RuBP)
葡萄糖 淀粉
类囊体膜
叶绿体基质
O_2
植物各处
筛管
蔗糖 (CH_2O)

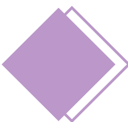
□2□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
□□□□□□

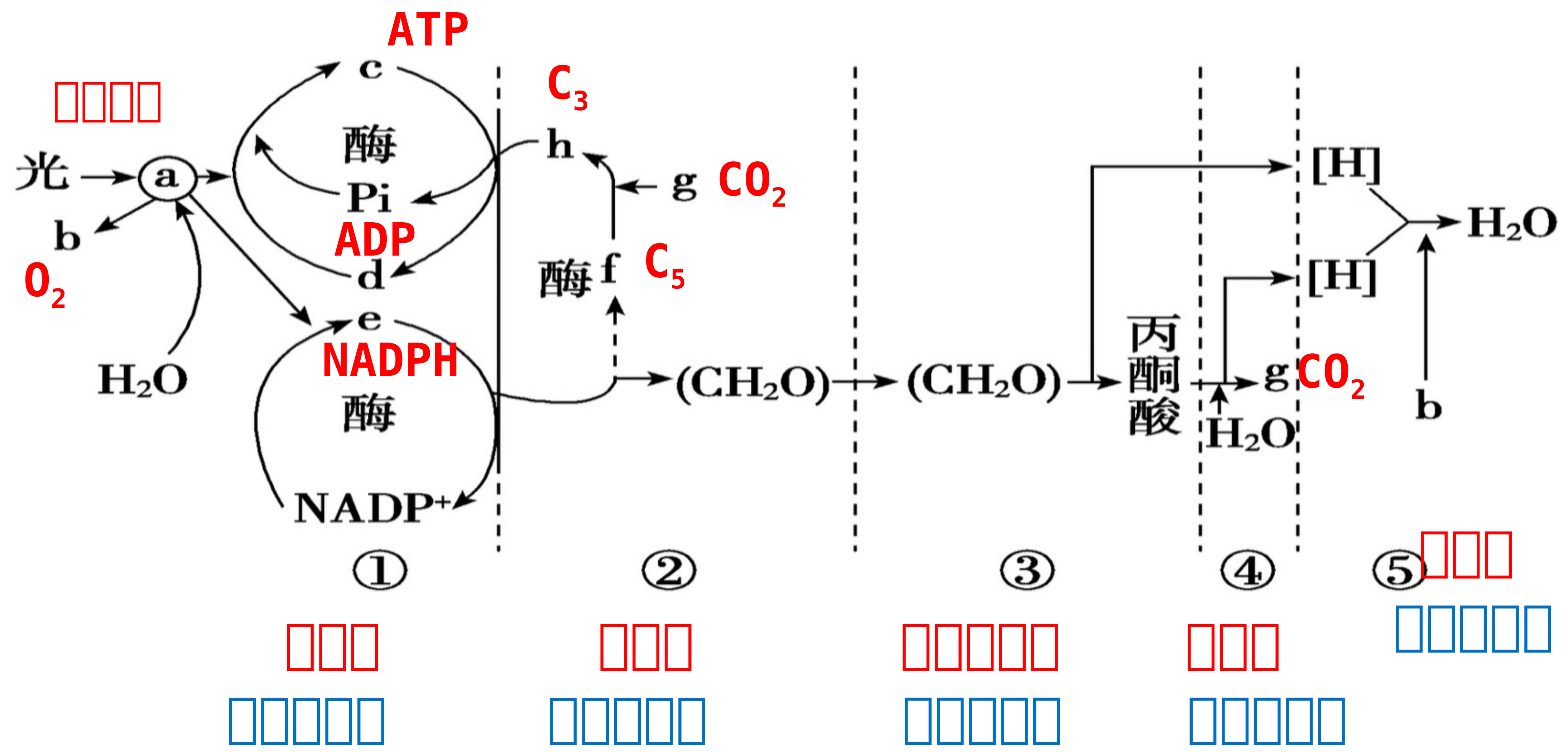


03

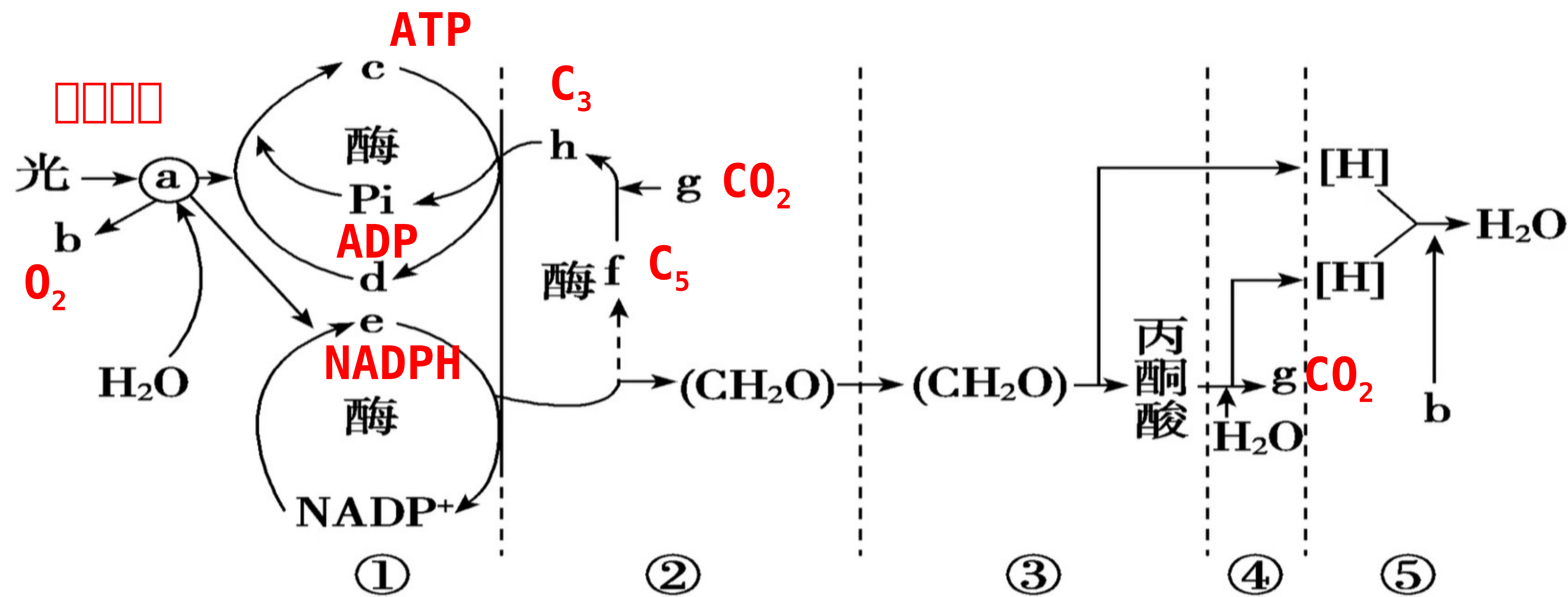




1. 光合作用与细胞呼吸关系图解

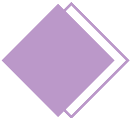


1. 光合作用与细胞呼吸关系图解



光合作用的产物为细胞呼吸提供了物质基础——O_2______；

细胞呼吸产生的___CO_2___可被光合作用所利用。

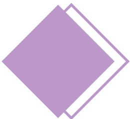


2

1

①C

$^{14}CO_2$

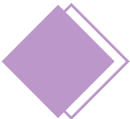


2

1

②H

^3H_2O

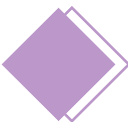


2

1

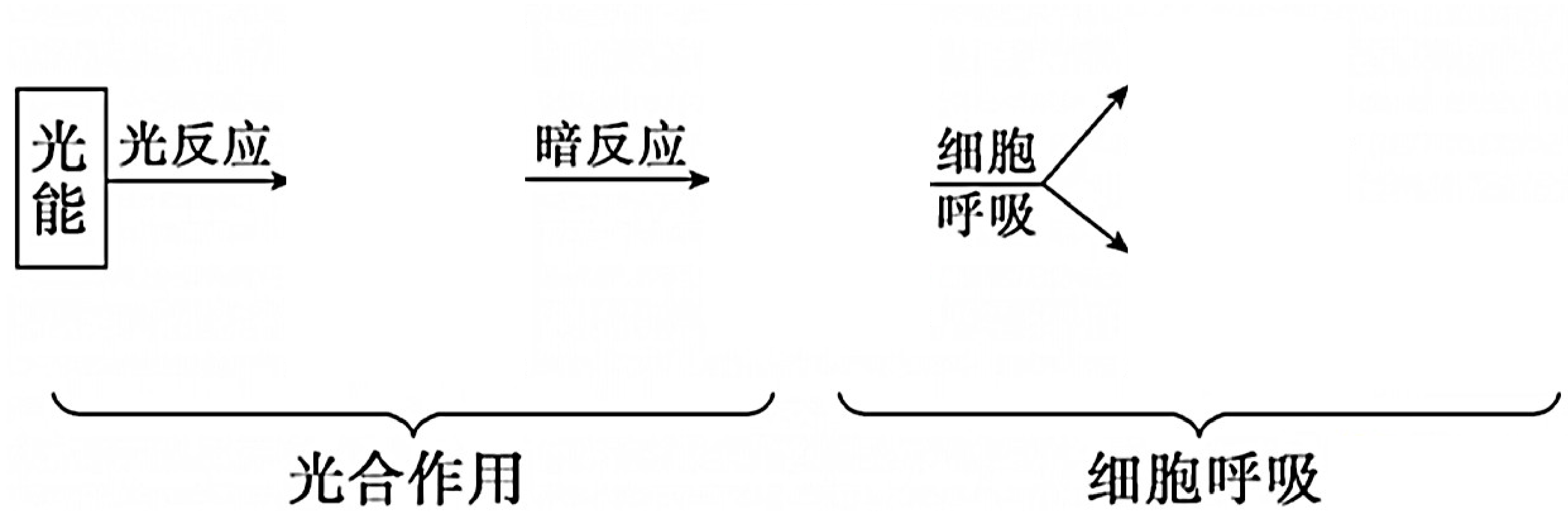
③O





[illegible]

2 [illegible]　　[illegible] 2 [illegible]





①在适宜的光照下，若用$H_2^{18}O$浇灌植物，则^{18}O会出现在葡萄糖中（√）

②若用^{18}O标记O_2，则不会在$C_6H_{12}O_6$中检测出^{18}O（×）

③给植物提供$C^{18}O_2$，则植物细胞呼吸新释放的CO_2中没有^{18}O（×）



3. 光合作用和细胞呼吸综合曲线

（1）自然环境中一昼夜植物CO_2吸收或释放速率的变化曲线

a点：________________，

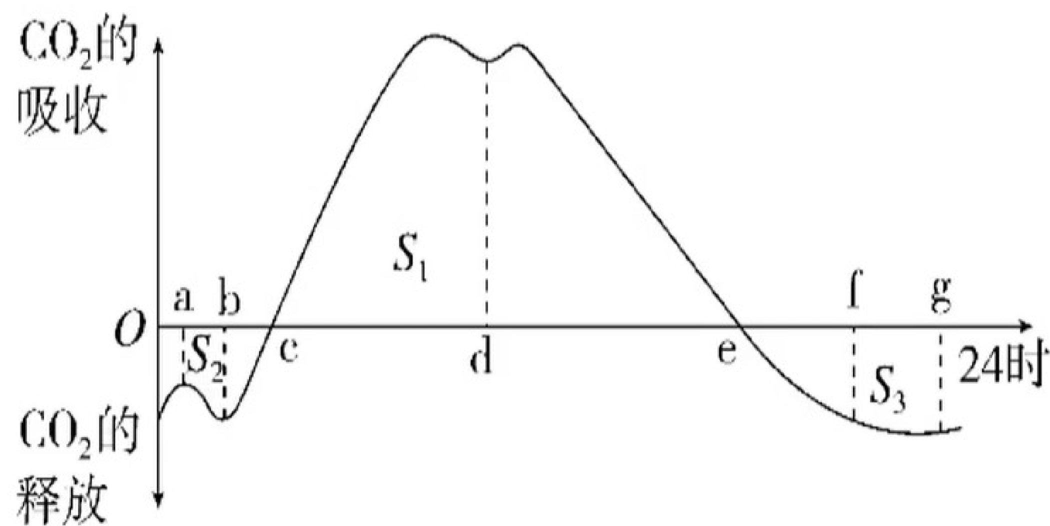
所以CO_2释放减少。

b 点：有微弱光照，植物开始进行________。

bc段：光合作用强度________细胞呼吸强度。

c 点：光合作用强度________细胞呼吸强度。

ce段：光合作用强度________细胞呼吸强度。





3. 光合作用和细胞呼吸综合曲线

（1）自然环境中一昼夜植物CO_2吸收或释放速率的变化曲线

d点：________，出现“午休”现象。

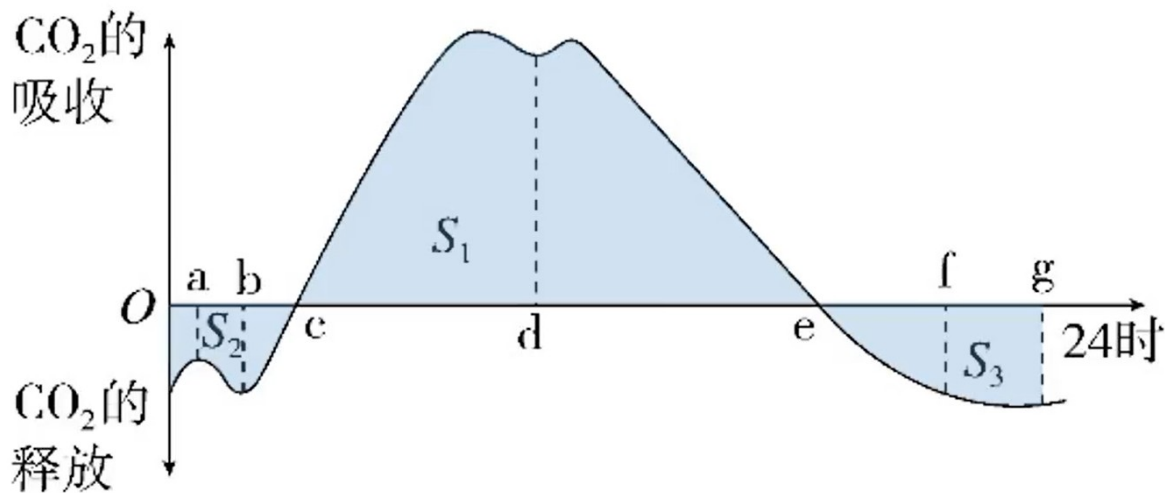
e 点：V光____V呼。

ef段：V光____V呼。

fg段：________。

bf段：________的时间段。

ce段：________的时间段。



一昼夜有机物的积累量＝ S_1 - S_2 - S_3 （S_1、S_2、S_3分别表示曲线和横轴围成的

有机物积累最多的时间点 e

激活 Windows
转到"设置"以激活 Windows。

[illegible]

3. 光合作用和细胞呼吸综合曲线

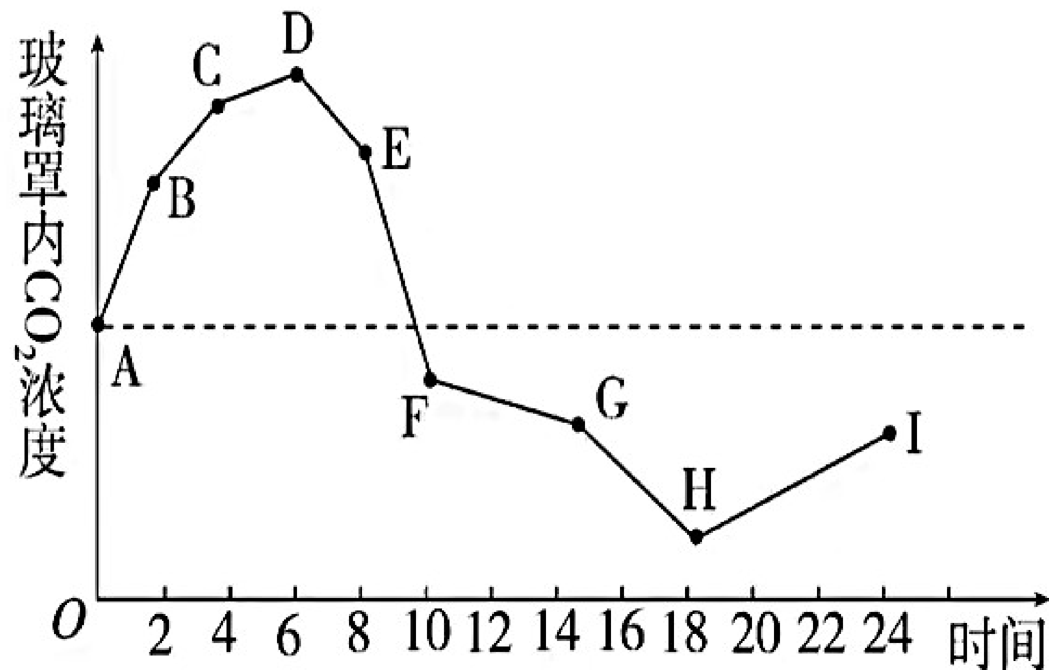
（2）密闭容器中一昼夜CO_2浓度的变化曲线

AB段：无光照，植物只进行[illegible]；

BC段：[illegible]；

CD段：4时后，有微弱光照，开始进行光合作用，但 V [illegible] V [illegible]。

D 点：随光照增强，V [illegible] = V [illegible]。



➢ [illegible] D [illegible]

□□□□□□□□□□□□□

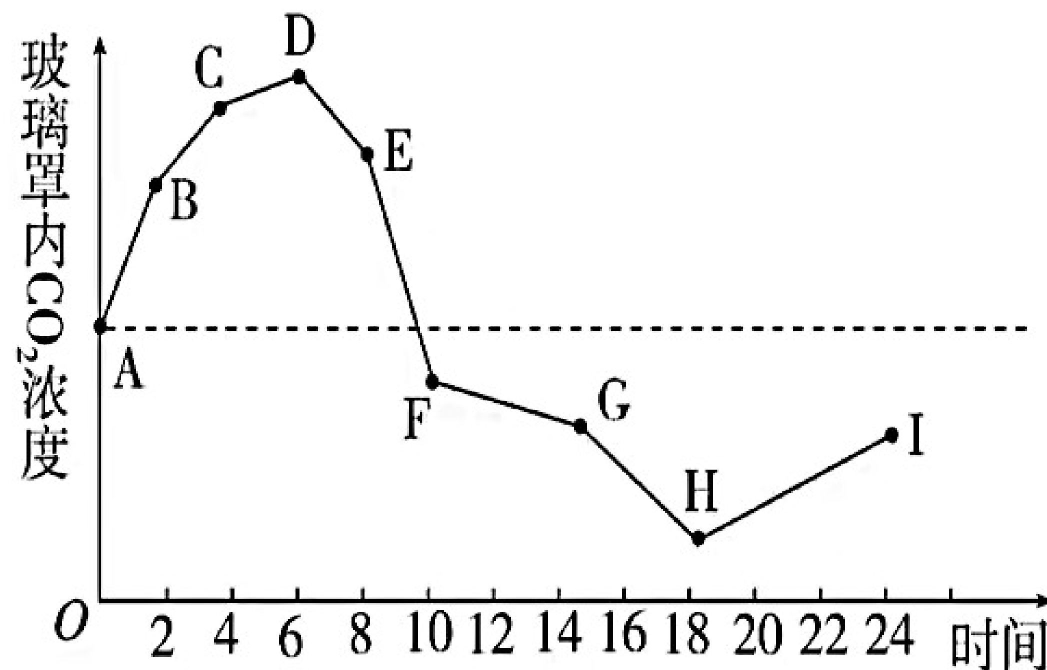
3. 光合作用和细胞呼吸综合曲线

（2）密闭容器中一昼夜CO_2浓度的变化曲线

DH段：V□□□V□□，其中FG□表示“午休”现象

H 点：随光照减弱，光合作用强度下降，V□□ = V□□。

HI段：光照继续减弱，V□□□V□□，直至光合作用完全停止。



➤ □□□□□□□H□□□□□□□□



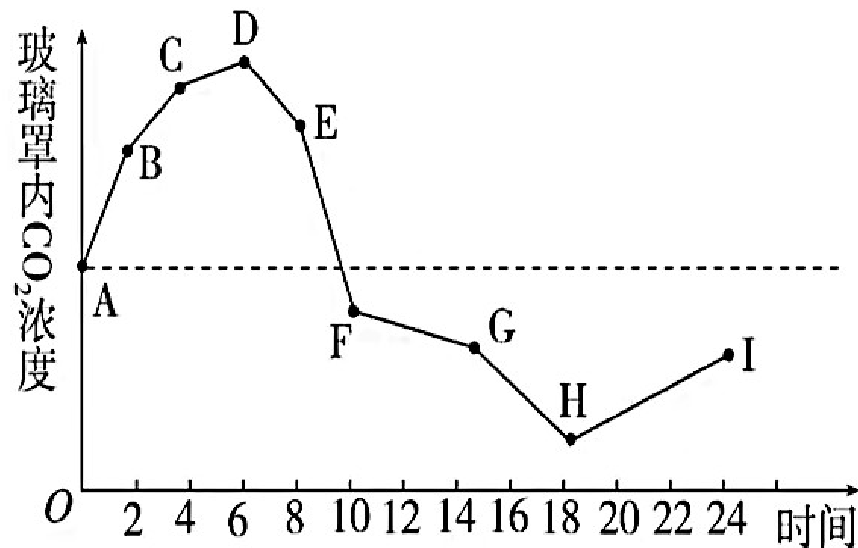
3. 光合作用和细胞呼吸综合曲线

（2）密闭容器中一昼夜CO_2浓度的变化曲线

DH段：V[illegible]V[illegible]，其中 FG[illegible] 表示"午休"现象

H 点：随光照减弱，光合作用强度下降，V[illegible] = V[illegible]。

HI段：光照继续减弱，V[illegible]V[illegible]，直至光合作用完全停止。





I [illegible] A [illegible] CO_2 [illegible]



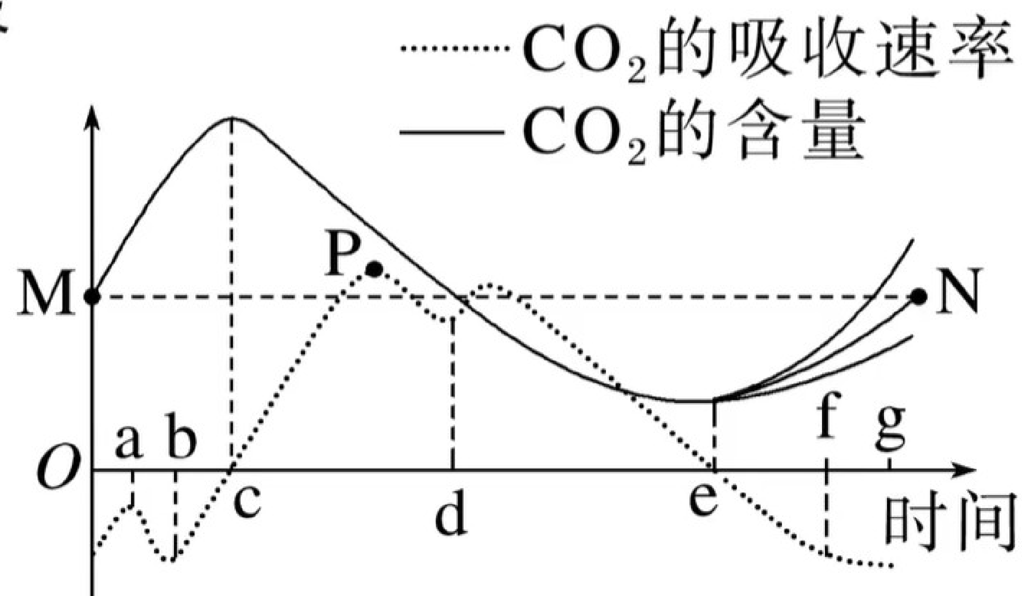
如图是大棚番茄在24小时测得CO_2含量和CO_2吸收速率的变化曲线图，下列有关叙述错误的是（ **B** ）

A. a点CO_2释放量减少可能是由温度降低导致细胞呼吸强度减弱

B. 番茄通过光合作用合成有机物的时间是c～e段

C. 由P点条件变为d点，C_5生成减少

D. 植物干重最大的时刻是e点



4. 三率测定的4种模型

（1）气体体积变化法（液滴移动法）

①测定呼吸速率

a. 玻璃钟罩遮光处理，以排除光合作用干扰。

b. 装置烧杯中放入适宜浓度的NaOH溶液用于吸收CO_2。

c. 红色液滴向左移动(单位时间内左移距离代表呼吸速率)。

②测定净光合速率

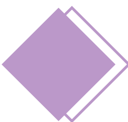
a. 必须给予足够光照处理。 $NaHCO_3$

b. 烧杯中放入适宜浓度的CO_2缓冲液，用于保证容器内CO_2浓度恒定，满足光合作用需求。

c. 红色液滴向右移动(单位时间内右移距离代表净光合速率)。



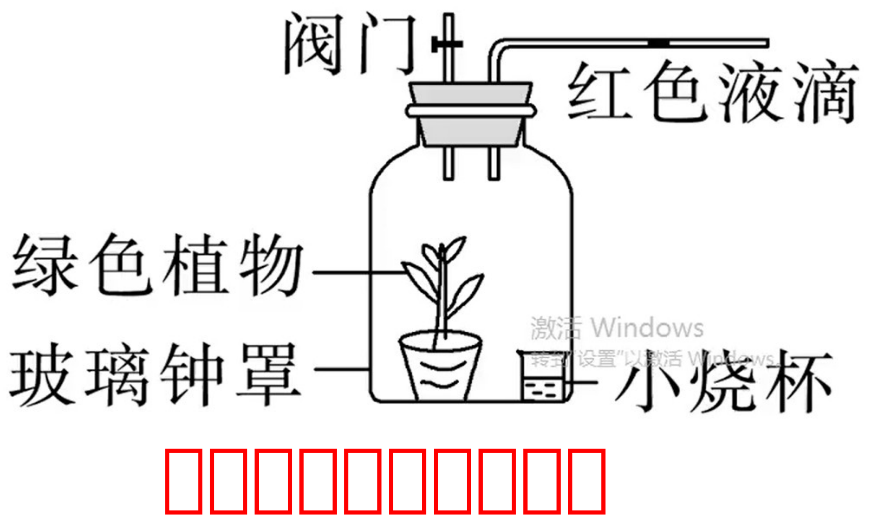
激活 Windows

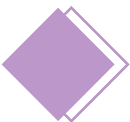


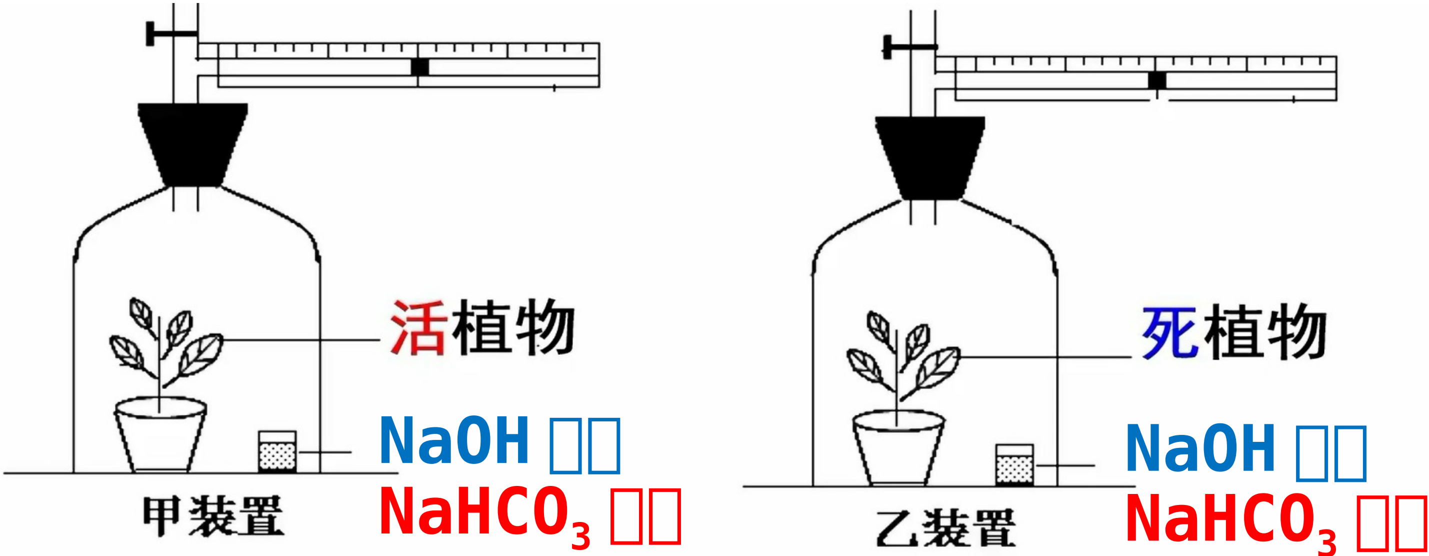
4. 三率测定的4种模型

（1）气体体积变化法（液滴移动法）

③物理误差的校正：



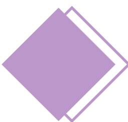




		实验1小时后红墨水滴移动情况	
测植物呼吸作用 黑暗	甲装置	____移1.5厘米	2
	乙装置	右移0.5厘米	
测植物净光合作用 光照	甲装置	____移4.5厘米	4
	乙装置	右移0.5厘米	

激活 Windows
转到"设置"以激活 Windows。

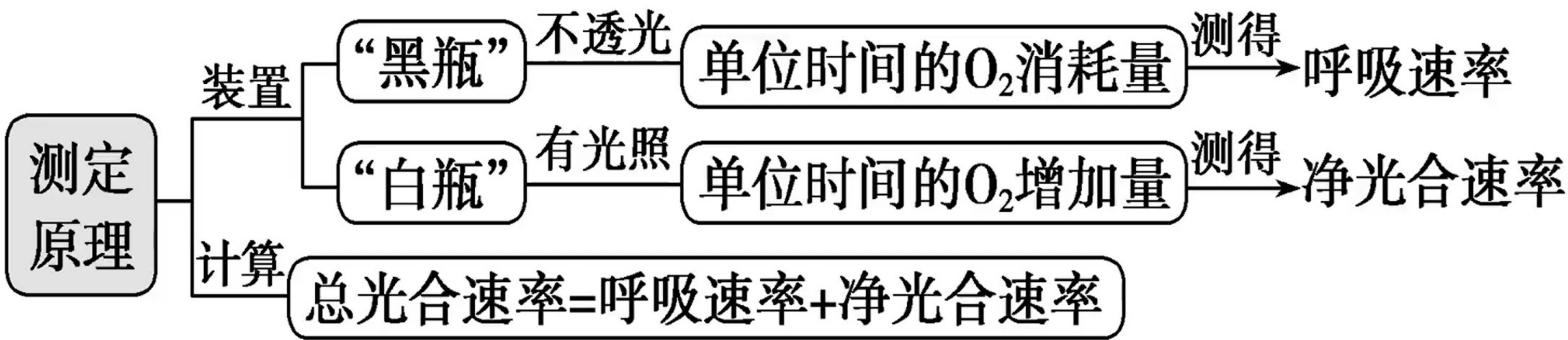
该植物的光合作用速率是每小时产生___6___厘米的氧气。

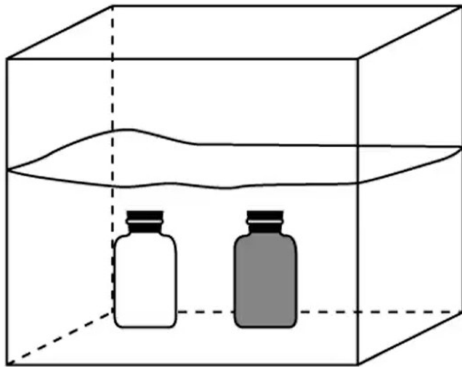


□□□□□□□□□□□□□

4. 三率测定的4种模型

（2）黑白瓶法（测溶氧量的变化）





①有初始值的情况下：

黑瓶中O_2的减少量（或CO_2的增加量）为呼吸量　□(□)-□ (□)=□□□□O_2

白瓶中O_2的增加量（或CO_2的减少量）为净光合作用量 □(□)-□ (□)=□□□□□O_2

②□ 没有初始值的情况下：□□□□□□□□□□□□□□

白瓶中测得的现有量 － 黑瓶中测得的现有量＝总光合量

激活 Windows
转到“设置”以激活 Windows。



1. 某生物科研小组，从鸭绿江的某一深度取得一桶水样， 分装于五对黑白瓶中，剩余水样测得初始溶解氧的含量为10mg/L，白瓶为透明玻璃瓶，黑瓶为黑布罩住的玻璃瓶。将它们分别置于五种不同的光照条件下，温度保持不变，24小时后，实测获得六对黑白瓶中溶解氧的含量，请根据其记录数据（下表），求各组的真正光合量？

光照强度/klx	a	b	c	d	e
白瓶溶氧量/（mg·L⁻¹）	10 0	16 6	24	30	30
黑瓶溶氧量/（mg·L⁻¹）	3 7	3 7	3	3	3
	7	13			



下表所示是采用黑白瓶（不透光瓶—可透光瓶）法测定夏季某池塘不同深度水体中初始平均O_2浓度与24小时后平均O_2浓度，并进行比较计算后的数据。

水深/m	1	2	3	4
白瓶中O_2浓度	+3	1.5	0	−1
黑瓶中O_2浓度	−1.5	−1.5	−1.5	−1.5

A.水深 1 m 处白瓶中水生植物 24 小时制造的 O_2 为 3 g/m^3

B．水深 2 m 处白瓶中水生植物不能进行水的光解但能进行 C_3 的还原

C．水深 3 m 处白瓶中水生植物产生 ATP 的细胞器是叶绿体和线粒体

D．水深 4 m 处白瓶和黑瓶中的水生植物均不进行光合作用

激活 Windows

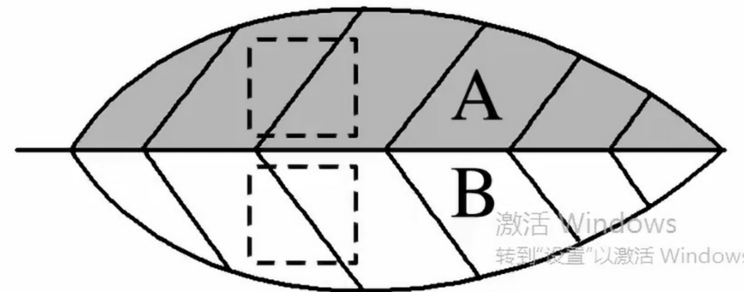
4. 三率测定的4种模型

（3）半叶法

①将叶片一半遮光，一半曝光。

②遮光的一半测得的数据变化值代表**细胞呼吸强度值**，曝光的一半测得的数据变化值代表**表观(净)光合作用强度值**。

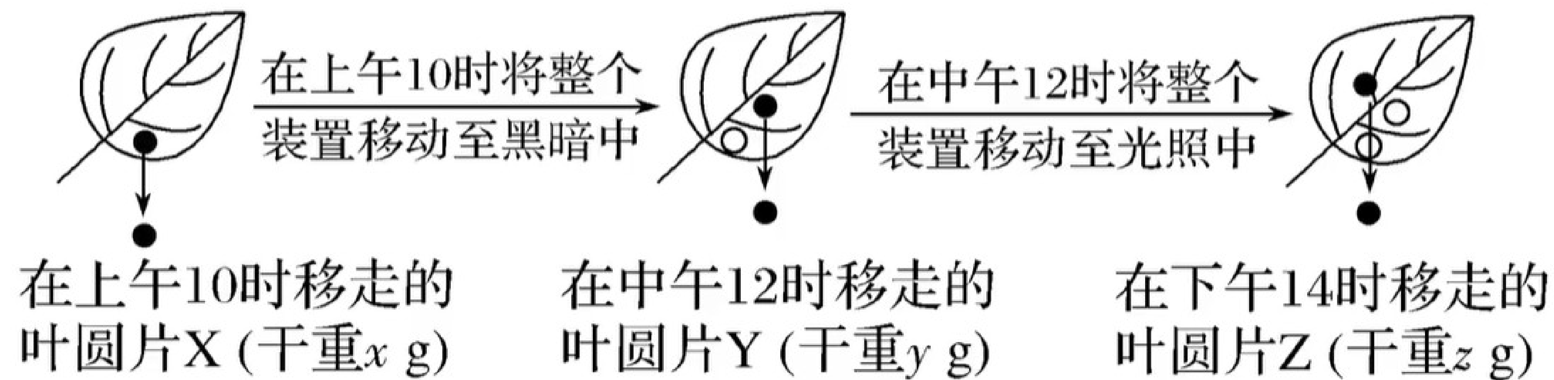
③需要注意的是该种方法在实验之前需切断左右叶片间的联系，以防止**有机物的运输**。计算可参考黑白瓶法：总光合量 $= M_B - M_A$



4. 三率测定的4种模型

（4）叶圆片称重法

①操作图示：本方法通过测定单位时间、单位面积叶片中淀粉的生成量，如图所示以有机物的变化量测定光合速率（S为叶圆片面积）。



②结果分析

呼吸速率＝ (x – y)/2S ；净光合速率＝ (z – y)/2S ；

□□□速率＝净光合速率＋呼吸速率＝ (x+z –2y)/2S 。

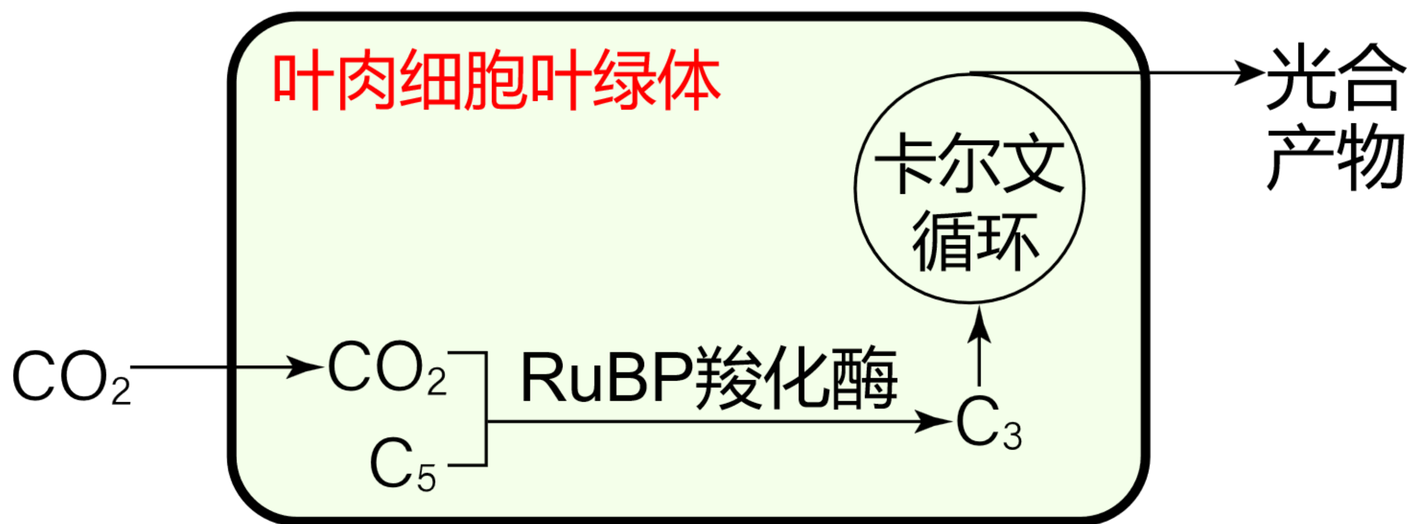
04

C_3□C_4□CAM□□□□□□

C_3 植物、C_4 植物和 CAM 植物光合作用

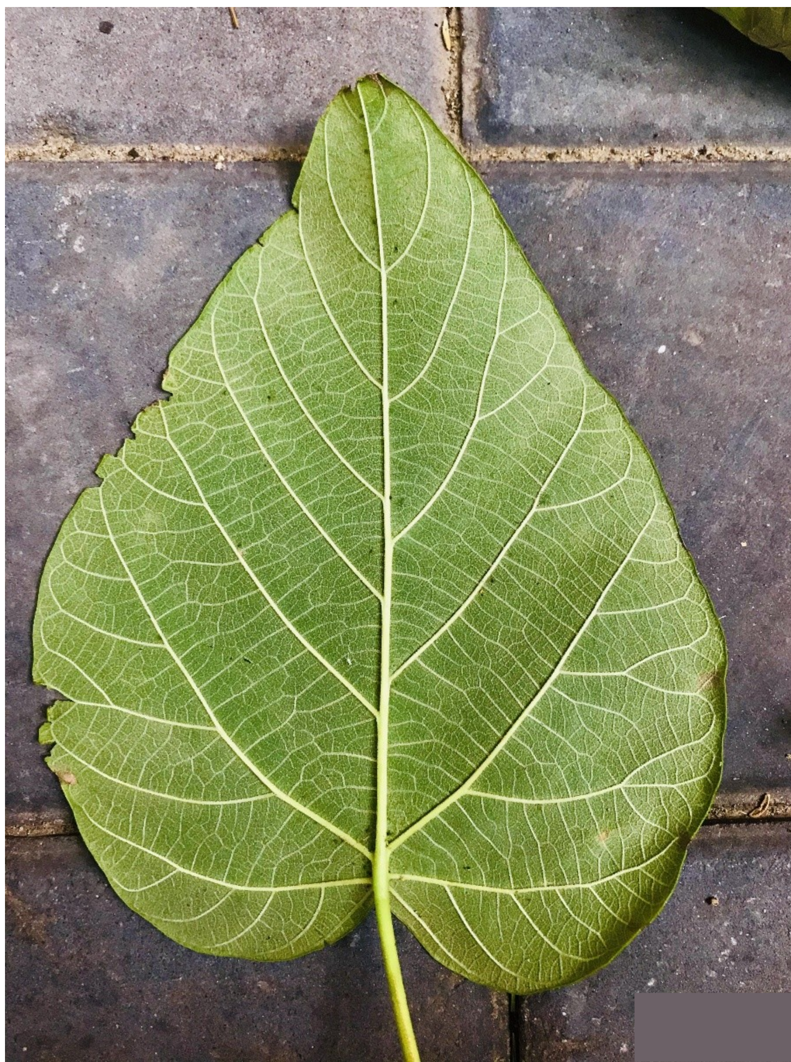
1. C_3途径

也称卡尔文循环，整个循环由RuBP（C_5）与CO_2的羧化开始到RuBP（C_5）再生结束，在叶绿体基质中进行，可合成蔗糖、淀粉等多种有机物。常见C_3植物有大麦、小麦、大豆、菜豆、水稻、马铃薯等。



C_3 □□□ C_4 □□□ CAM □□□□□

2. C_4途径——光合作用是位置的分工



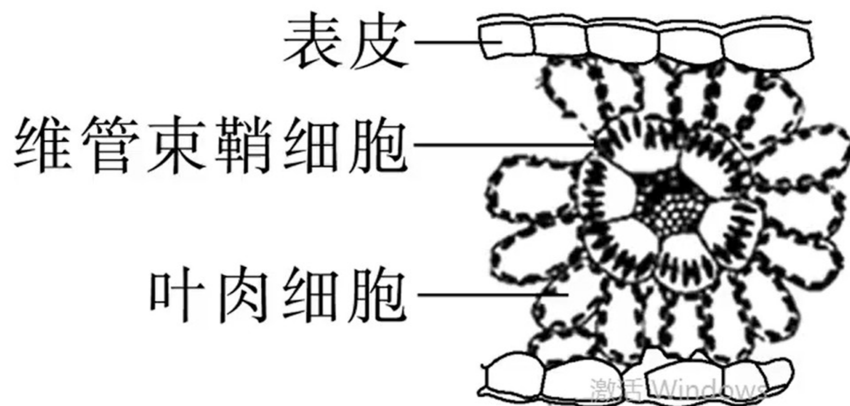


图 1

激活 Windows
转到"设置"以激活 Windows。

C_3 植物、C_4 植物、CAM 植物的适应性

2. C_4途径——光合作用是位置的分工

（1）某些植物叶肉细胞中的叶绿体有类囊体能进行光反应，CO_2在PEP羧化酶的作用下被整合到C4化合物中，随后C4化合物被运输进入维管束鞘细胞。

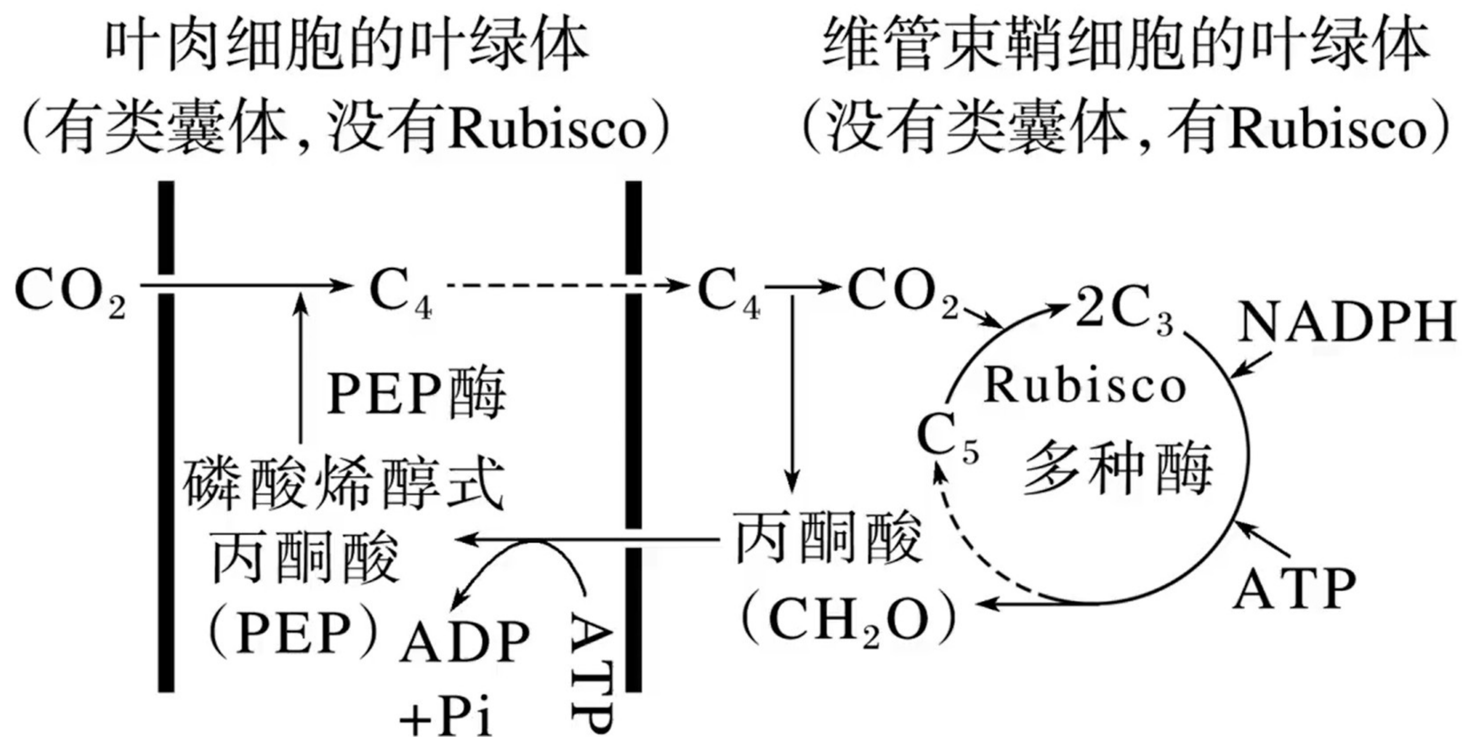


图2

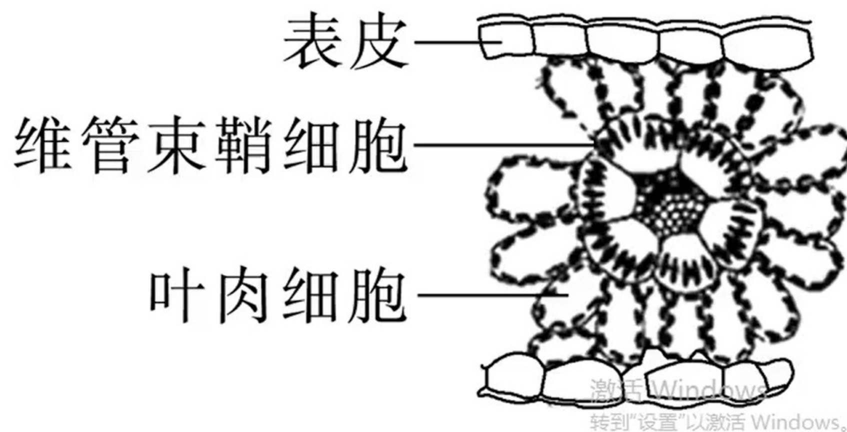


图1

激活 Windows
转到"设置"以激活 Windows。

C_3 □□□ C_4 □□□ CAM □□□□□□

2. C_4途径——光合作用是位置的分工

（2）维管束鞘细胞中没有完整的叶绿体，在维管束鞘细胞中，C_4化合物释放出的CO_2参与卡尔文循环，进而生成有机物。

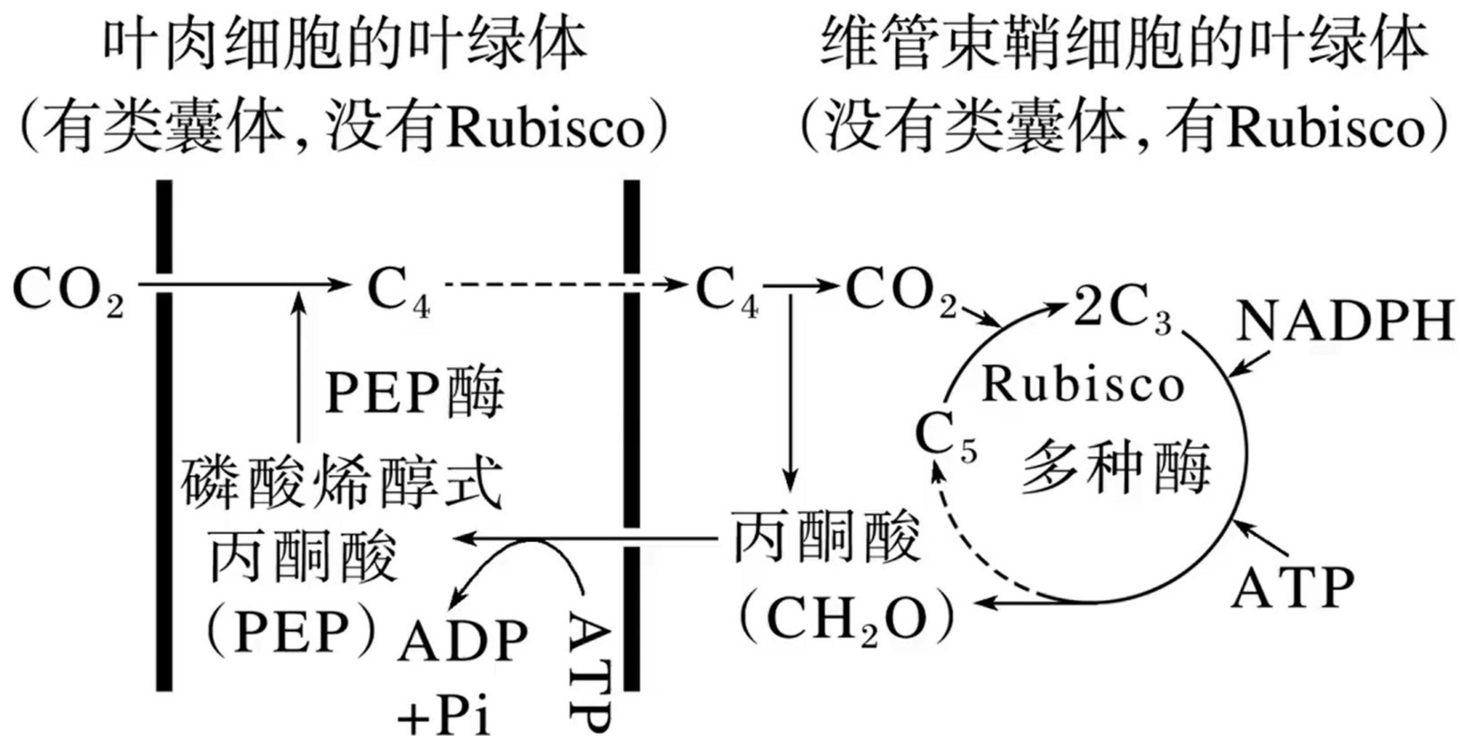
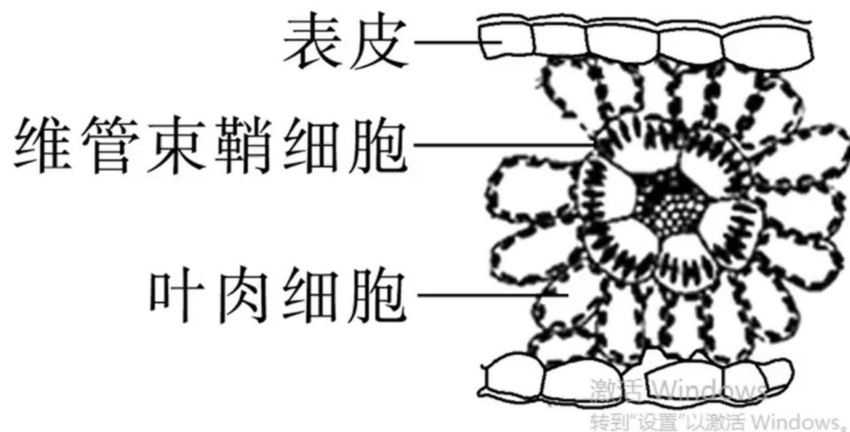


图2



激活 Windows
转到"设置"以激活 Windows。
图1

思考

PEP羧化酶被形象地称为“CO_2泵”，PEP羧化酶与CO_2的亲和力是Rubisco酶的60倍。推测C4植物具有怎样的特性？

C_4植物具有耐高温、光照强烈、干旱的能力，没有光合午休的现象

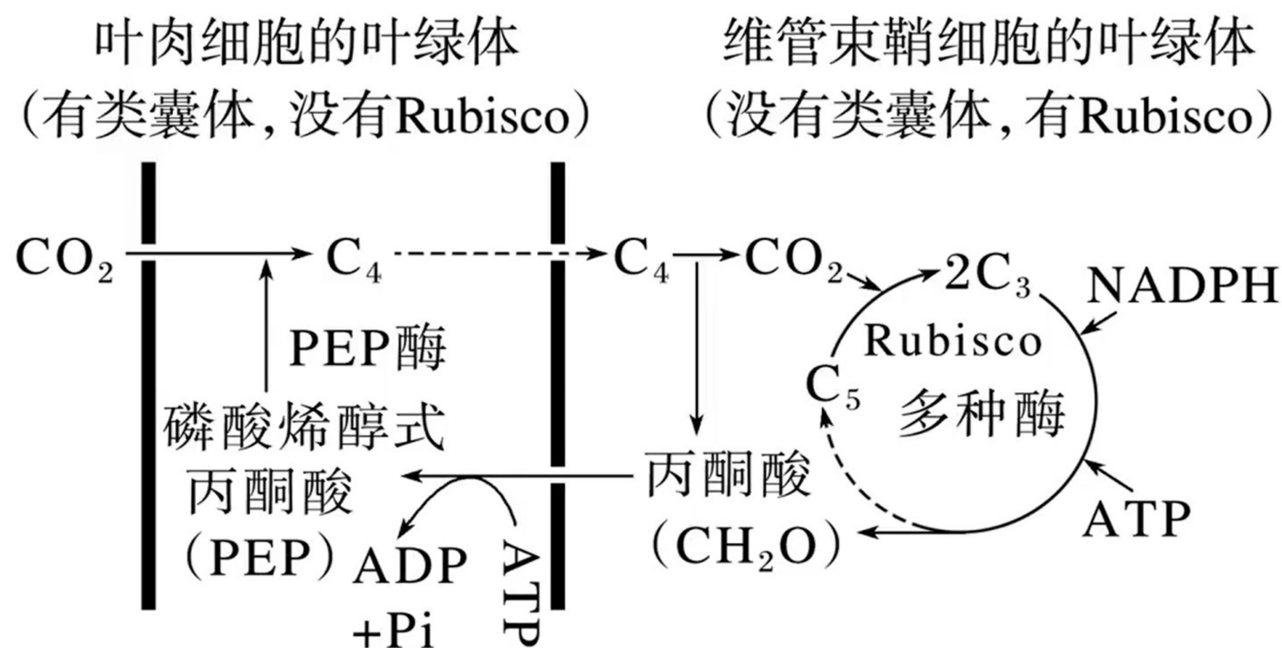


图2



思考

PEP羧化酶被形象地称为“CO_2泵”，PEP羧化酶与CO_2的亲和力是Rubisco酶的60倍。推测C4植物具有怎样的特性？

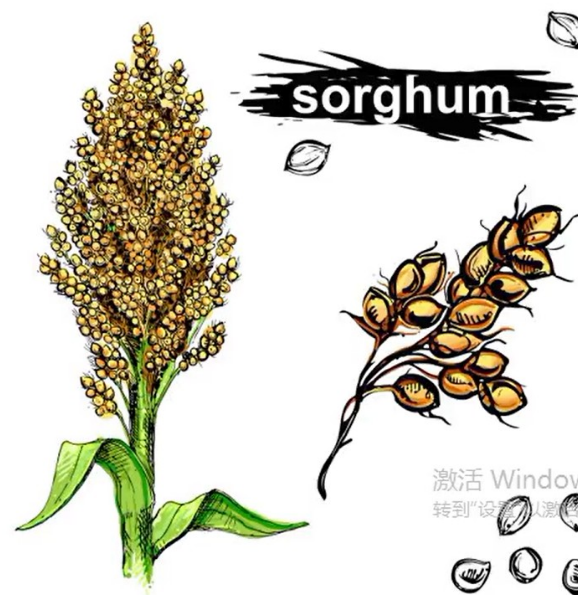
C_4植物具有耐高温、光照强烈、干旱的能力，没有光合午休的现象

□□□C_4□□□

□□□□□□□□□□□□□







激活 Windows

C_3 □□□ C_4 □□□ CAM □□□□□□

2. C_4途径——光合作用是位置的分工

- □□□□□□□□□□□□ CO_2
- □□□□□□□□□□□

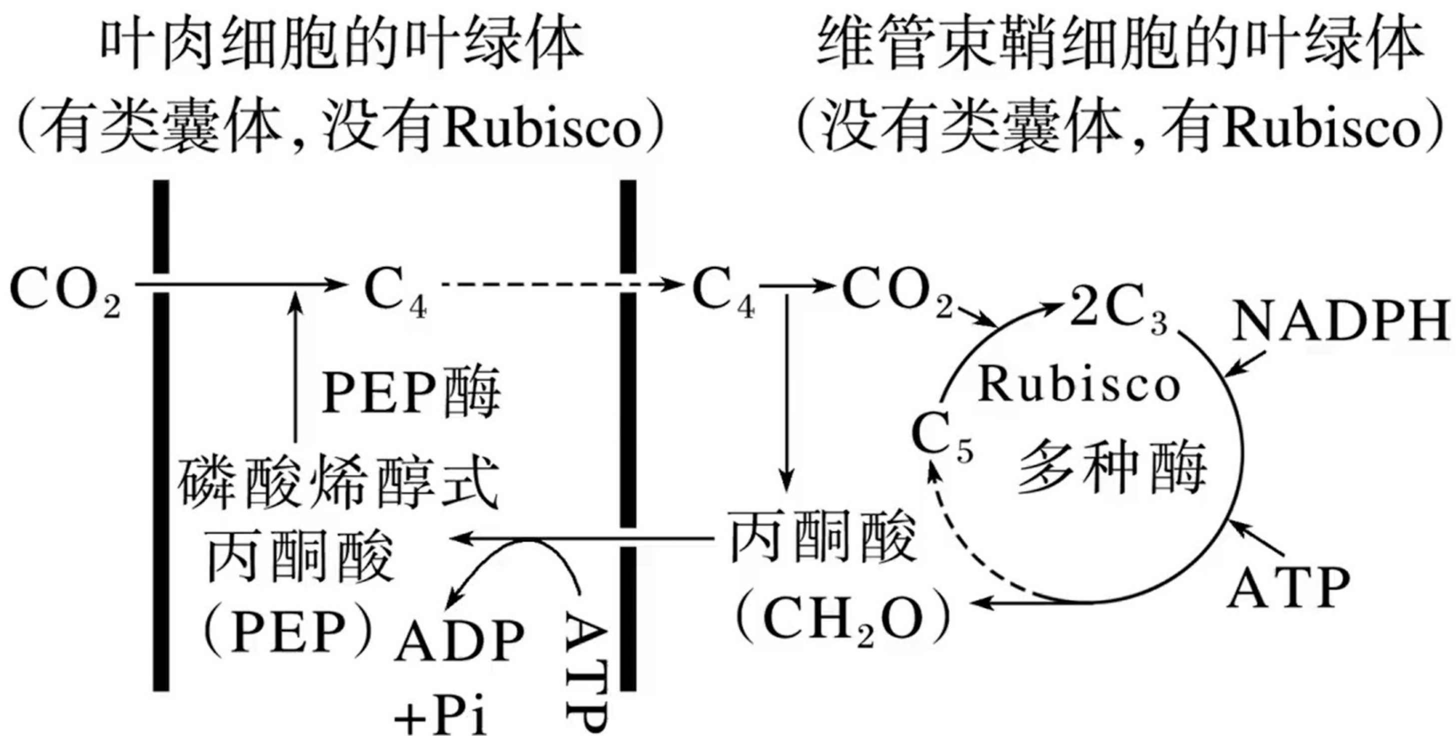
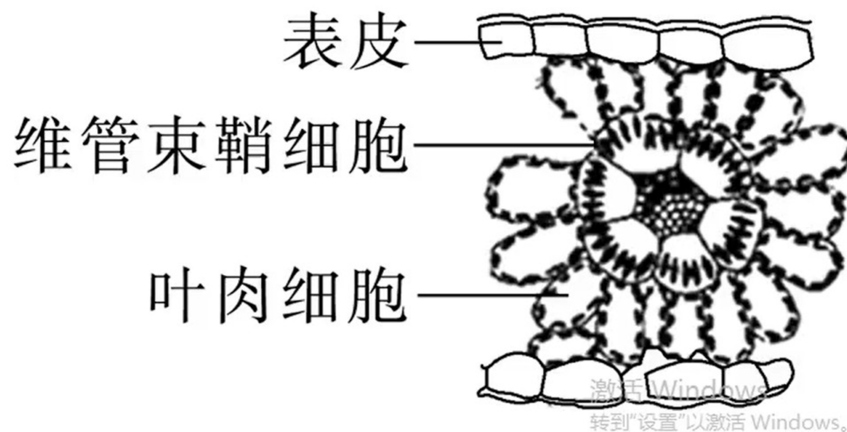
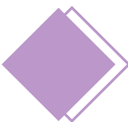


图2



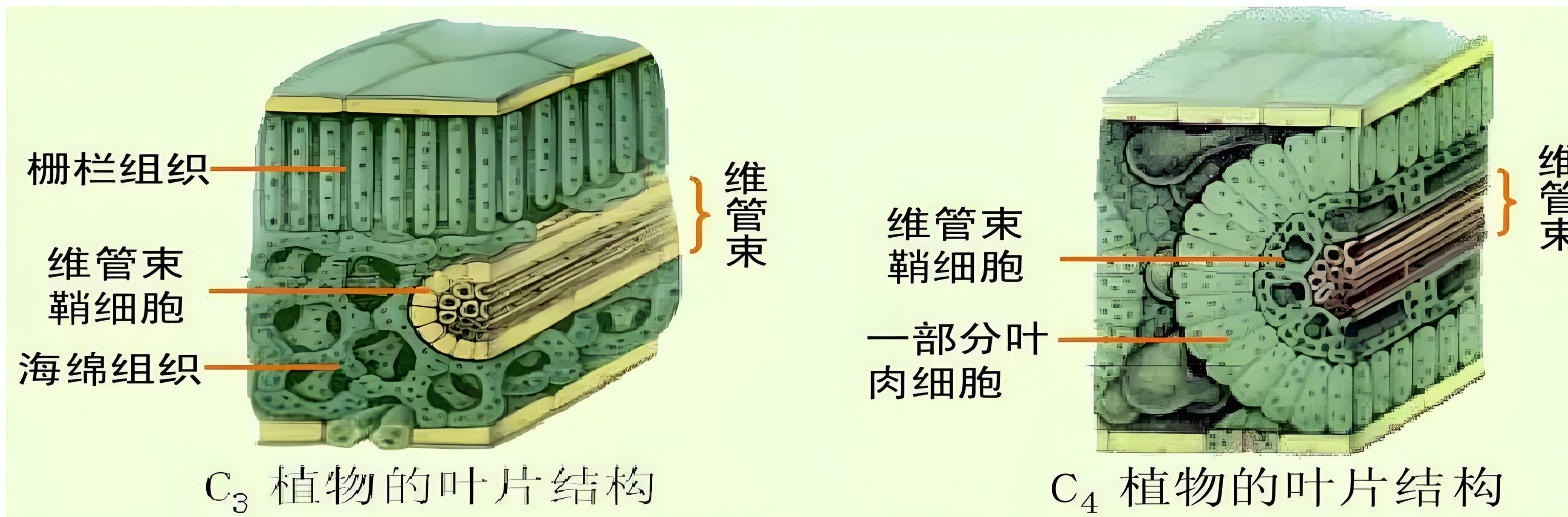
激活 Windows
转到"设置"以激活 Windows。

图1



C_3 □□□ C_4 □□□ CAM □□□□□□

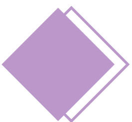
➢ C_3 □ C_4 □□□□□□□



C_3 植物的叶片结构

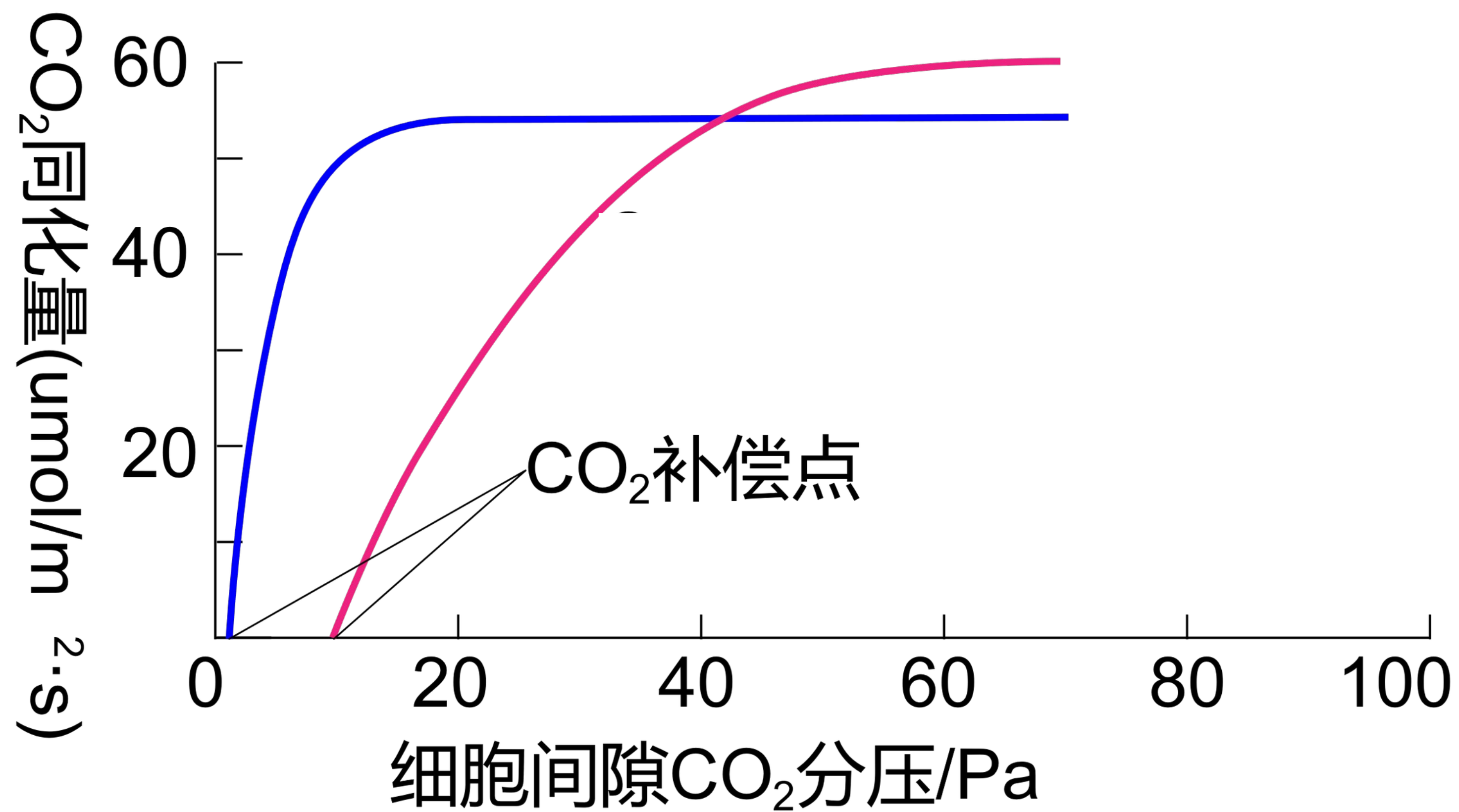
C_4 植物的叶片结构

□□□□ CO_2 □□□□□□□□ C_3 □□□□□□ C_4 □□□□□□□



C_3 □□□ C_4 □□□ CAM □□□□□□

- □□ C_3 □ C_4 □□□□□□



C_3 植物、C_4 植物和 CAM 植物光合作用

3. CAM途径——光合作用是时间的分工

CAM植物夜间气孔开放吸进CO_2，CO_2经一系列反应转化为苹果酸储存在液泡中。白天气孔关闭，苹果酸经一系列反应转化为CO_2，进入C_3途径合成淀粉

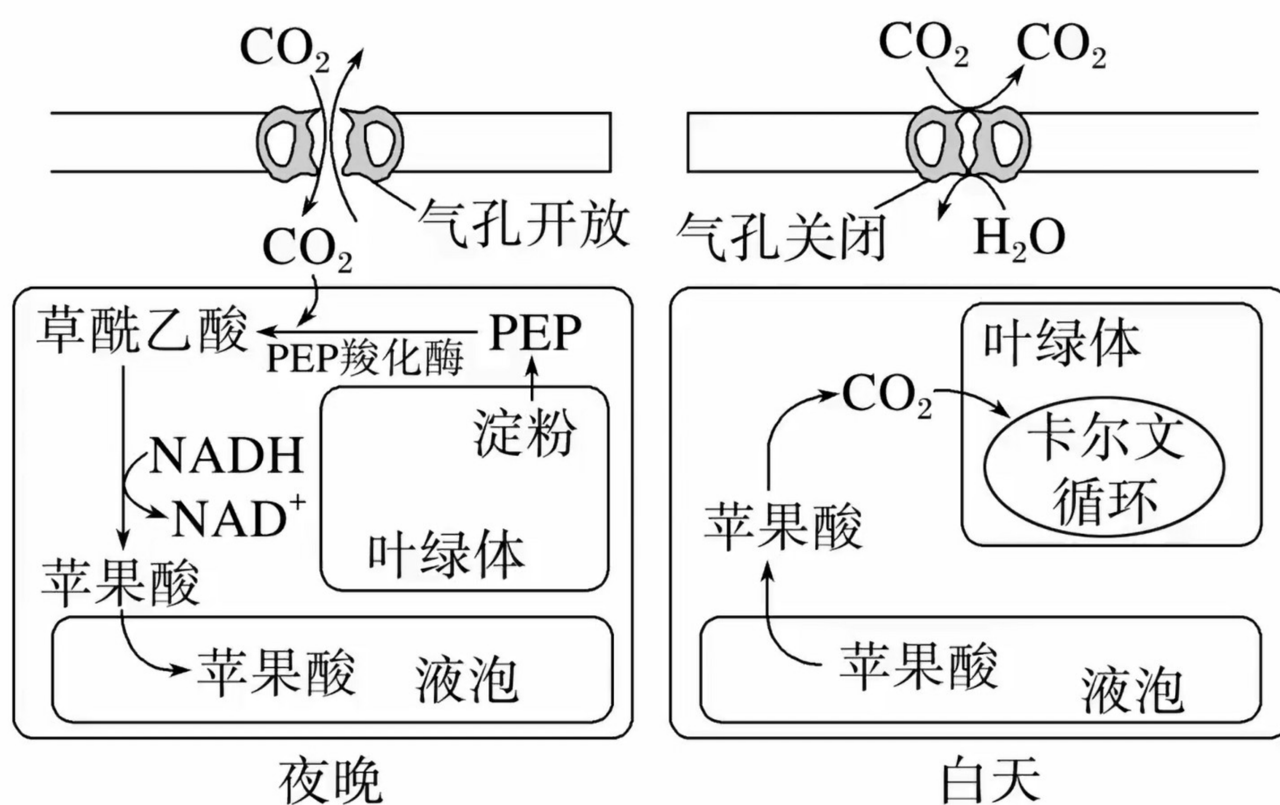
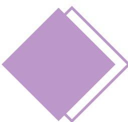


图3


激活 Windows
转到“设置”以激活 Windows。



C_3 □□□ C_4 □□□ CAM □□□□□□

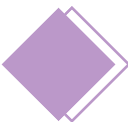
3. CAM途径——光合作用是时间的分工

CAM植物夜间气孔开放吸进CO_2，CO_2经一系列反应转化为苹果酸储存在液泡中。白天气孔关闭，苹果酸经一系列反应转化为CO_2，进入C_3途径合成淀粉

□□□ CAM □□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□
□□□□□□□□□□





C_3 □□□ C_4 □□□ CAM □□□□□□

3. CAM途径——光合作用是时间的分工

- □□□□ CO_2 □□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□

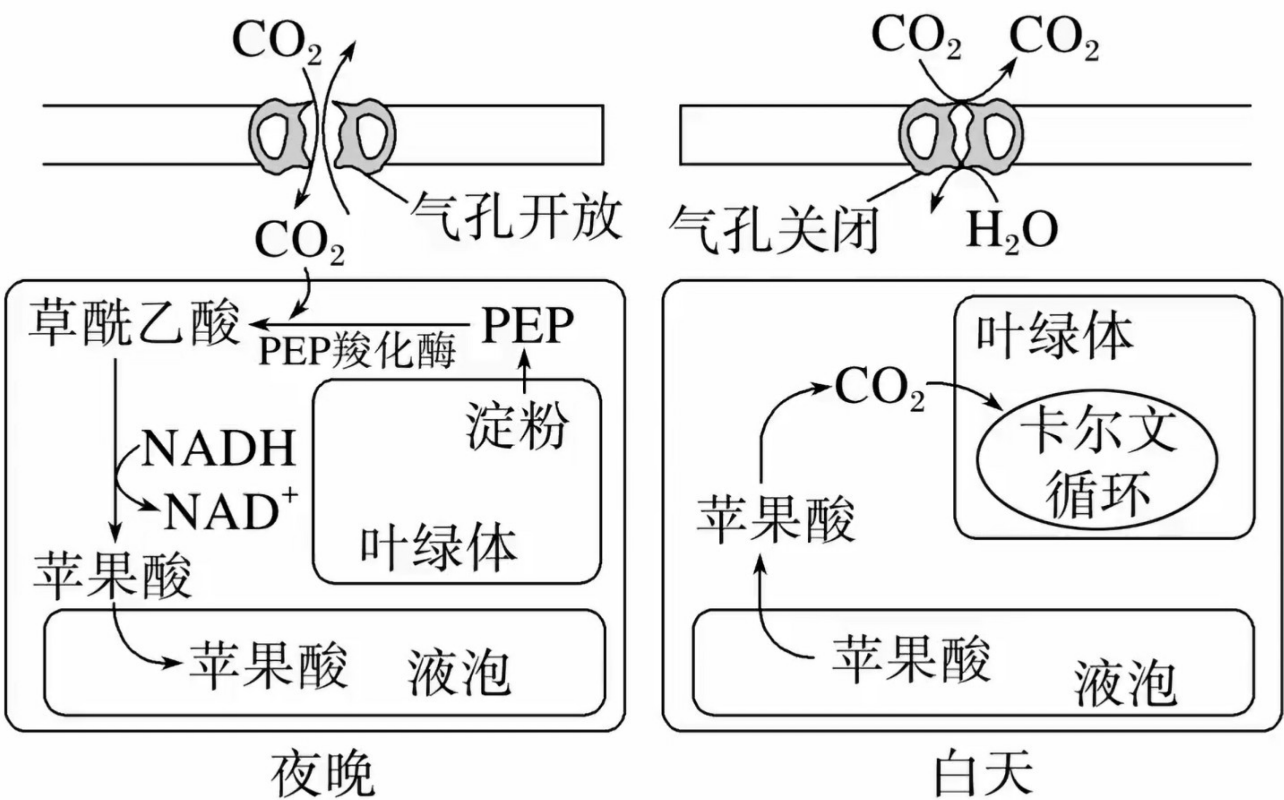


图3



激活 Windows
转到"设置"以激活 Windows。

[归纳总结] C_3植物、C_4植物和CAM植物的比较

特征	C_3植物	C_4植物	CAM植物
CO_2结合的第一物质(CO2的最初受体)	RuBP(C_5)	PEP	PEP
CO_2固定的最初产物	C_3	C_4	草酰乙酸(属于C4)
CO_2固定的时间	白天	白天	夜晚和白天
光反应的场所	叶肉细胞类囊体薄膜	叶肉细胞类囊体薄膜	叶肉细胞类囊体薄膜
卡尔文循环的场所	叶肉细胞的叶绿体基质	维管束鞘细胞的叶绿体基质	叶肉细胞的叶绿体基质
有无光合午休	有	无	无

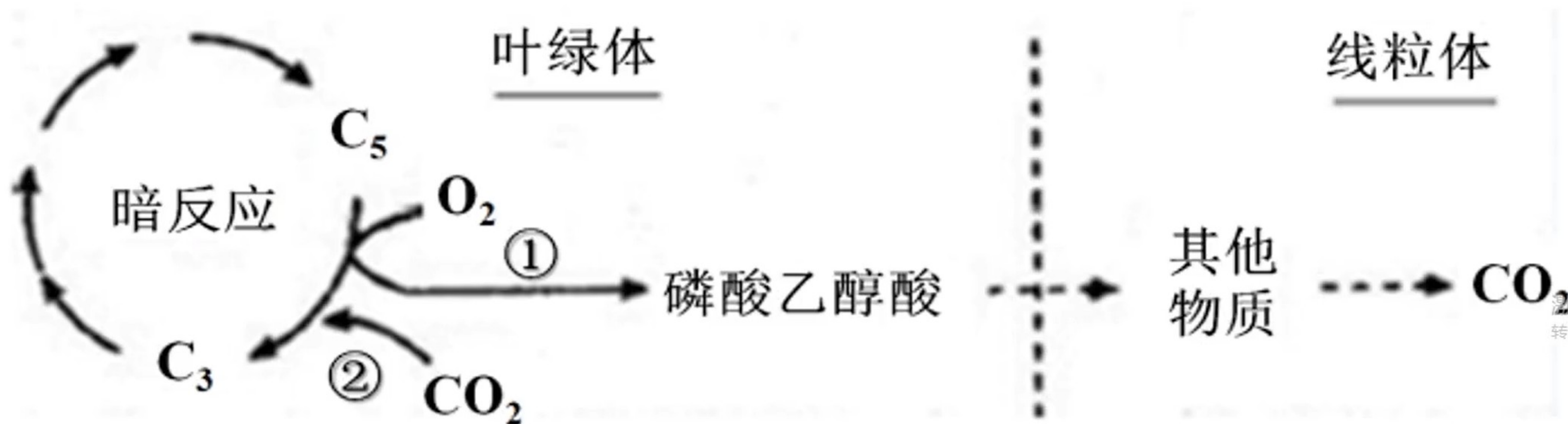
C_3途径是碳同化的基本途径，C_4途径和CAM途径都只起固定CO_2的作用，最终还是通过C_3途径合成有机物。

C_3 □□□ C_4 □□□ CAM □□□□□□

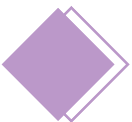
4. 光呼吸

（1）含义：

有人发现，用食醋进行叶面喷雾可以使绿萝生长更加茂盛，原因是在一定程度上抑制了绿萝“光呼吸”过程。光呼吸会消耗O_2、ATP、[H]，将部分C_5分解并释放CO_2（如图）。由此可知，光合作用与光呼吸都利用了___C_5___为原料，但光合作用能通过___C_3 □□□___实现该物质的再生，而光呼吸不能。



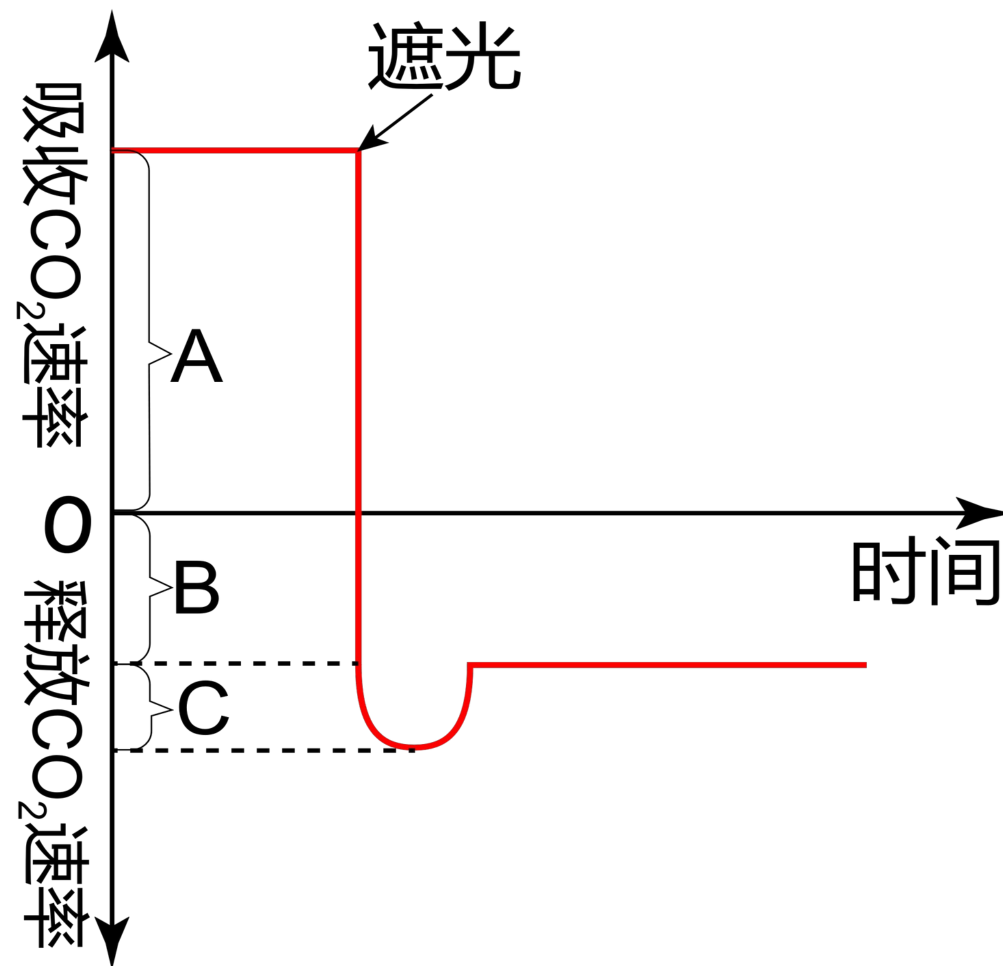
激活 Windows
转到"设置"以激活 Windows



C_3 □□□ C_4 □□□ CAM □□□□□□

- □□□□□□□

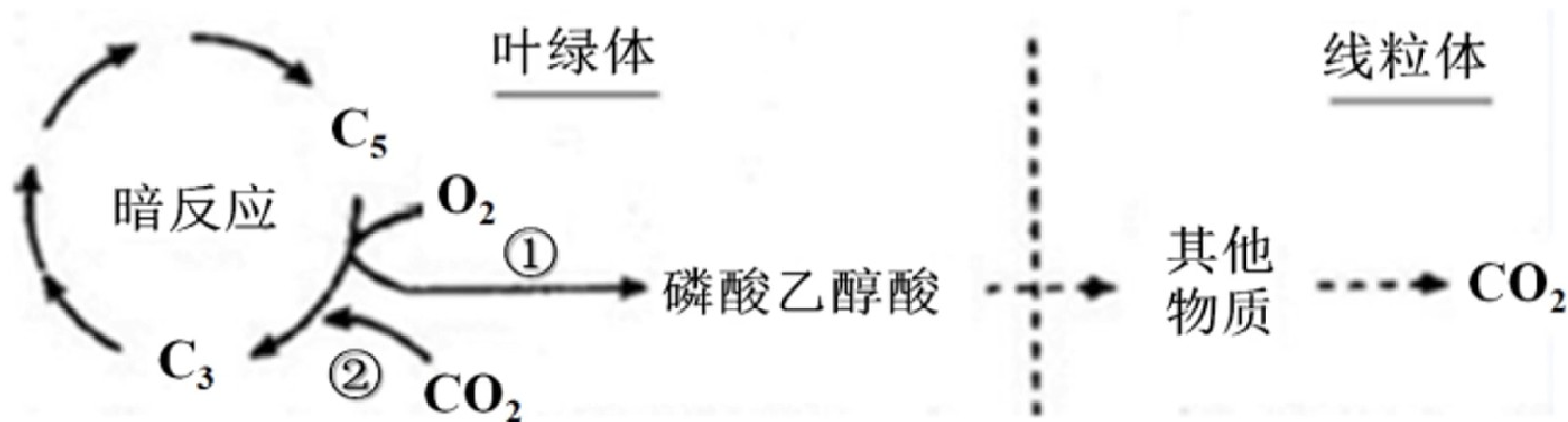
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
CO_2 □□□□□□□“□□□□□□□”□



C_3 □□□ C_4 □□□ CAM □□□□□□

4. 光呼吸

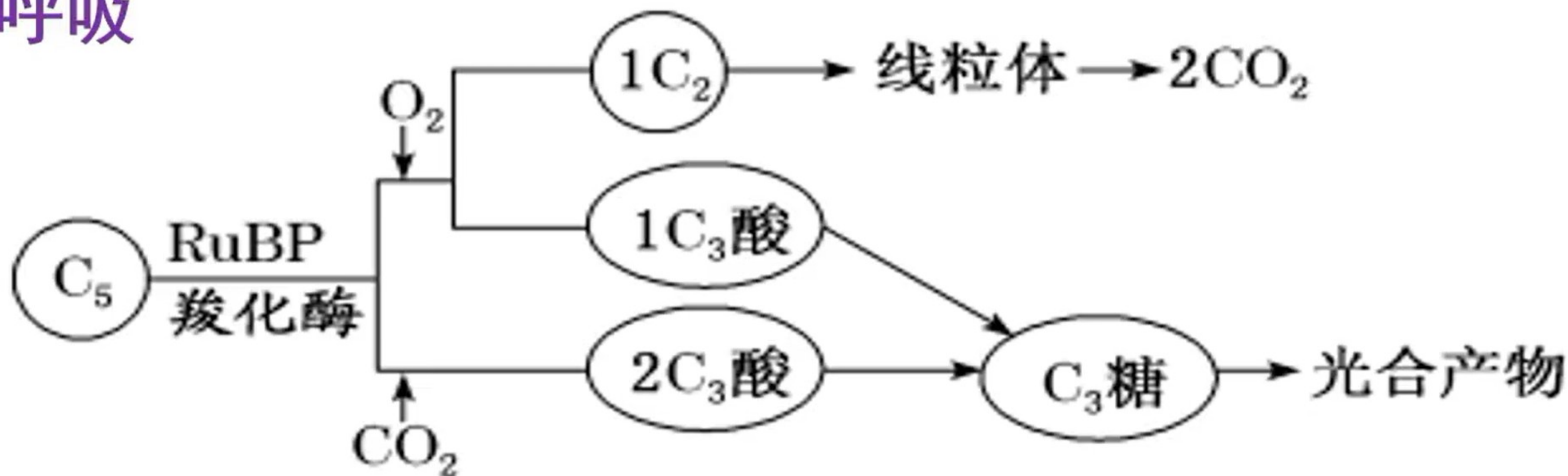
研究发现，图2中催化①、②过程的是同一种酶，CO_2和O_2会竞争此酶的同一活性位点，由此推测，适当<u>□□□□□ O_2 □□</u>或<u>□□ CO_2 □□</u>，均可有效抑制光呼吸（ 光合产物1/3以上要消耗在光呼吸底物上 ）。



激活 Windows

C_3 □□□ C_4 □□□ CAM □□□□□□

4. 光呼吸



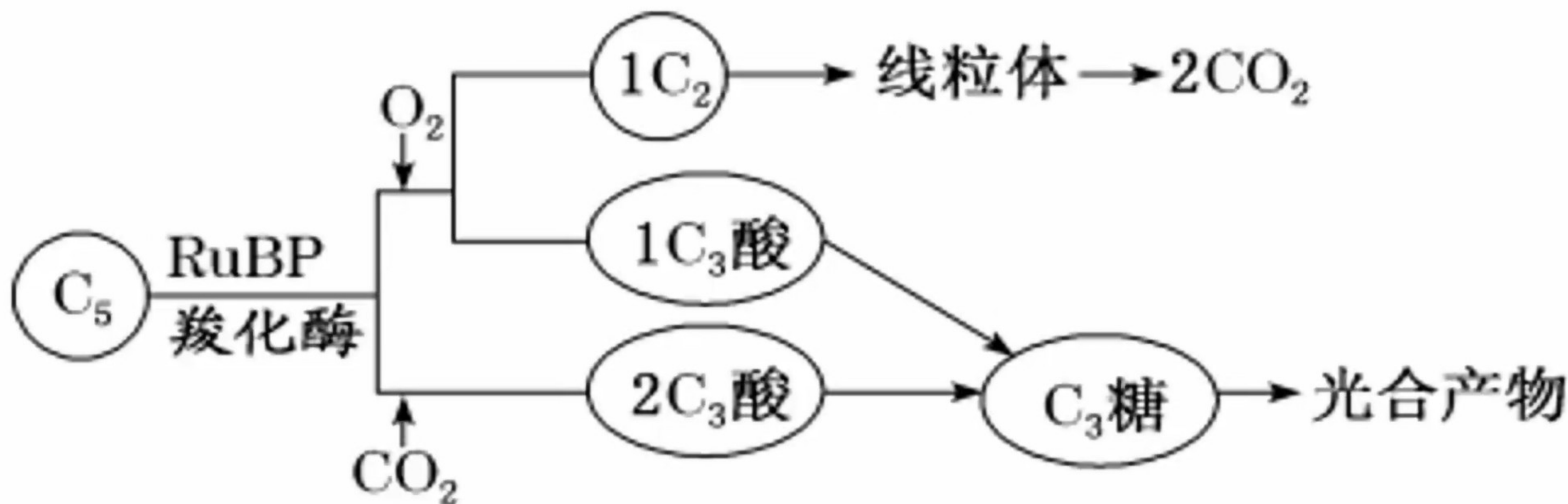
研究发现，绿色植物中RuBP羧化酶具有双重活性，催化如下图所示的两个方向的反应，反应的相对速率取决于O_2和CO_2的相对浓度。

（1）在叶绿体中，在RuBP羧化酶催化下C_5与___O_2___反应，形成的___□□□□□□ C_2 □___进入线粒体放出CO_2，称之为光呼吸。CO_2浓度倍增可以使光合产物的积累增加，原因是___□□□ CO_2 □□□□□□□□□□□□□□□□___。

激活 Windows

C_3 □□□ C_4 □□□ CAM □□□□□□

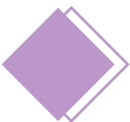
4. 光呼吸



（2）有观点指出，光呼吸是一种保护机制，生理作用在于干旱天气和过强光照下，因为温度很高，蒸腾作用很强，气孔大量关闭，____CO_2____供应减少。此时的光呼吸可以消耗光反应阶段生成的多余的__ATP □ NADPH__，而光呼吸产生的__CO_2__又可以作为暗反应阶段的原料，因此光呼吸对植物有重要的正面意义。

（3）光呼吸被冠以“呼吸”二字，理由是__□□□□□□□□□ O_2 □□□ CO_2________。

激活 Windows
转到"设置"以激活 Windows。

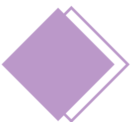


C_3植物、C_4植物、CAM植物光合作用

4. 光呼吸

（2）光呼吸与细胞呼吸的比较：

比较项目	光呼吸	细胞呼吸
底物	C_2化合物	糖类等有机物
发生部位	叶绿体、线粒体等	细胞质基质、线粒体
反应条件	光照	光或暗都可以
能量	消耗能量	产生能量
共同点	消耗O_2、释放CO_2	



C_3植物、C_4植物、CAM植物与光呼吸

4. 光呼吸

（3）光呼吸的危害

①如果在较强光下，光呼吸加强，使得C_5氧化分解加强，一部分碳以CO_2的形式散失，从而减少了光合产物的形成和积累。

②光呼吸过程中消耗了ATP和还原氢，即造成了能量的损耗。

C_3 植物、C_4 植物和 CAM 植物光合作用

4. 光呼吸

（4）光呼吸的积极意义

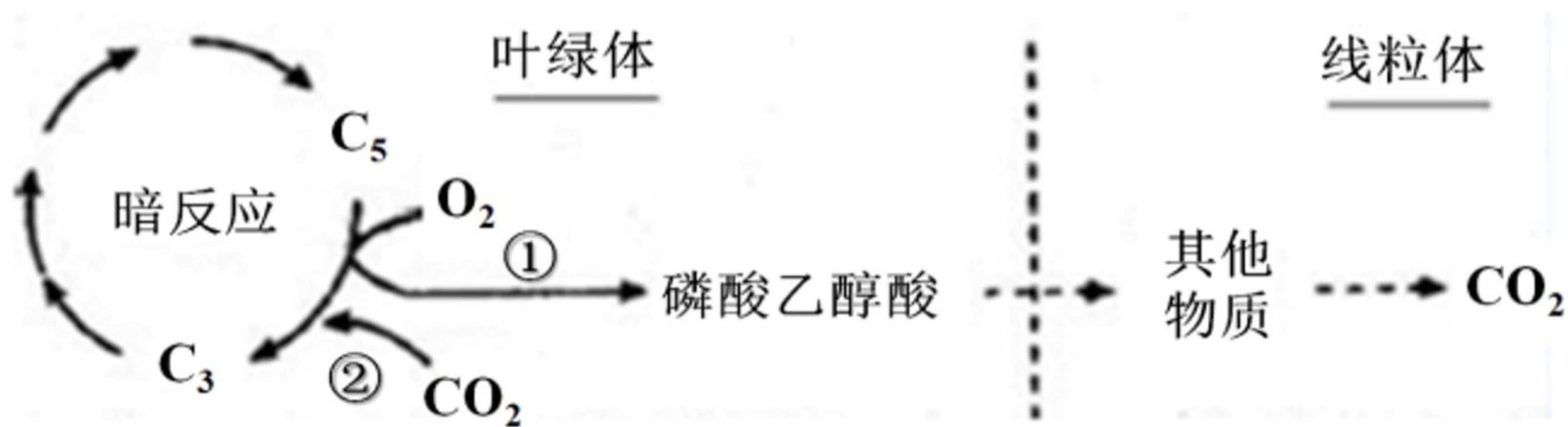
它使叶片在过强光照或干旱的情况下，

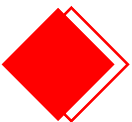
① 光呼吸是高耗能反应，可以消耗掉ATP和NADPH

② 光呼吸产物是CO2，可以弥补CO2不足，维系暗反应，暗反应也可以消耗掉ATP和NADPH

增加背景：正常光照下体内产生乙醇酸是不可避免的，乙醇酸对细胞有毒

③ 而光呼吸则可通过消耗乙醇酸而消除其对细胞的毒害。





光合作用

- 影响光合作用的因素及应用
  - 光照强度
  - 二氧化碳浓度
  - 温度
  - 水分
  - 矿质元素
  - 多因子影响
  - 内因
    - 遗传特性：阳生、阴生
    - 叶龄、叶绿素、酶的数量
    - 叶面积指数
- 光合速率的测定
- 化能合成作用
- 绿叶中的色素
  - 提取和分离
  - 吸收光谱
  - 影响合成的因素
- 光合作用的场所
  - 叶绿体
  - 恩格尔曼的实验
- 探索及过程
  - 经典实验
  - 光合作用原理
  - 物质含量的变化
- 实验：探究光照强度对光合作用强度的影响